



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

"Cogeneración de Electricidad para Autoconsumo en Industrias  
Extractoras de Aceite de Palmiste en Base a Biomasa Residual  
del Proceso: Perspectiva y Factibilidad Técnica y Económica."

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MÉCANICO**

Presentada por:

Frank Emilio Aroca Ramos

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2014

## AGRADECIMIENTO

En especial a Dios, por permitirme culminar una etapa más en mi vida, por su gracia y bendiciones que ha derramado sobre mí, a lo largo de mi etapa universitaria, agradezco a mis padres y hermanos, por su ayuda incondicional en cada momento, inculcando desde casa, el valor del sacrificio y responsabilidad en el camino de la vida.

A mis amigos que de manera personal, contribuyeron con su apoyo emocional en esta etapa universitaria.

Un agradecimiento especial a todo la FIMCP-ESPOL, que fue el ente directo, en forjar sobre mi vida,

valores, principios académicos y fomentar especialmente una vida profesional en base a la formación, dedicación y esfuerzo diario.

Al Dr. Alfredo Barriga N. y su cuerpo de asociados(as) CDTS-ESPOL, quienes depositaron su confianza en mí, y hoy son parte de la realización del presente trabajo, por su invaluable y bendecida ayuda.

# DEDICATORIA

A Dios;

A Mi Familia;

A Mis Profesores y Cuerpo

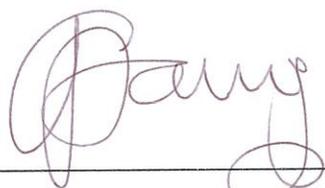
humano de la FIMCP –ESPOL;

A Mis Amigos.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Jorge Duque R.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



Dr. Alfredo Barriga R.  
DIRECTOR DEL TFG



Ing. Gonzalo Zabata O.  
VOCAL



CIB - ESPOL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



---

Frank Emilio Aroca Ramos



## RESUMEN

Ecuador hacia un cambio en su matriz energética y productiva<sup>1</sup>, cuya legislación ha permitido que la industria privada y pública, se plantee metas y estrategias en eficiencia energética; programas que permitan la disminución del uso de combustibles fósiles, generando una mayor productividad, siendo eficiente en el uso de recursos energéticos e insumos.

Programas que el gobierno ecuatoriano ha destinado, como se podría mencionar el ejemplo cuya inversión de aproximadamente 88 000 dólares para el financiamiento del proyecto “Planta para la producción de combustibles a partir de la biomasa residual” cuyo decreto ejecutivo número 689-A, en el año 2007<sup>2</sup>, fomenta la importancia de la utilización de biomasa residual como bagazo de caña, cascarilla de arroz, fibra y cuesco de nuez proveniente del fruto de la palma africana, entre otros, relevantes en el sector agroindustrial del país; cuya finalidad es la utilización como una fuente de combustibles debido a su alto contenido de carbono, estableciéndose así, como un recurso energético con un potencial calorífico, para que por medio un sistema convertidor de energía, generar energía eléctrica o térmica, cuya

---

<sup>1</sup> Tomado del Link: <http://www.industrias.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/revista4.pdf>

<sup>2</sup> Tomado del link:

[http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news\\_user\\_view&id=63756&u mt=gobierno\\_destino\\_recursos\\_para\\_un\\_proyecto\\_biomasa\\_residual](http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=63756&u mt=gobierno_destino_recursos_para_un_proyecto_biomasa_residual)

finalidad es satisfacer alguna demanda energética hacia el sector humano o industrial.

Por lo cual el presente trabajo, tiene como fin evaluar en una empresa del sector agroindustrial, dedicada a la extracción de aceite de palmiste, cuyo residuo energético como biomasa residual es la fibra y representativamente el cuesco de la nuez del fruto fresco de la palma africana, la factibilidad técnico y económico de generar energía eléctrica a través de cogeneración, considerando las hipótesis planteadas, como establecer más del 60% de la producción de biomasa residual disponible para la evaluación energética, la misma que presenta las condiciones físicas y químicas para el proceso de combustión en el horno de un caldero a biomasa específica, y finalmente que la biomasa residual no se presta para una disposición alimenticia salvo su utilización a nivel energética.

El presente trabajo, se verá marcado a primera instancia por la identificación de la demanda eléctrica y la cuantificación de los recursos e insumos que demande el proceso productivo; mediante un balance global de energía y masa evaluar la disponibilidad potencial de la biomasa residual, resultante del proceso para establecer la factibilidad técnica y económica, de implementar un sistema de cogeneración eléctrica.

Finalmente identificar el impacto tecnológico, sociocultural y ambiental que conlleve la implementación del sistema de generación eléctrica en la planta.

El trabajo que se ilustra, estuvo bajo la autorización de la gerencia de la planta extractora de aceite de palmiste, por lo cual se considera que la información proporcionada es fiable y demostrable.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ABREVIATURAS .....	viii
SIMBOLOGÍA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. GENERALIDADES.....	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Objetivo general.....	8
1.3 Objetivos específicos.....	8
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Sistemas de conversión de energía.....	9
2.2 Proceso de extracción de aceite de palmiste.....	20
2.3 Principales residuos agroindustriales del Ecuador.....	35

### **CAPÍTULO 3**

3. IDENTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS E INSUMOS UTILIZADOS PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE..	40
3.1 Características técnicas de planta por cada componente del Proceso.....	40
3.2 Consumo de combustible (biomasa residual) y de agua para el proceso.....	52
3.3 Potencia y energía eléctrica requerida para operación por cada componente de la planta.....	64

### **CAPÍTULO 4**

4. ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE.....	73
4.1 Balance energético global del proceso (masa y energía eléctrica).73	
4.2 Valoración de biomasa residual del proceso: cantidad y características.....	125
4.3 Evaluación del potencial energético disponible para cogeneración.....	137

### **CAPÍTULO 5**

5. TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DE IMPLEMENTACIÓN.....	141
---	-----

5.1 Descripción técnica de la tecnología a implementar.....	141
5.2 Análisis detallado de los componentes de la tecnología.....	145
5.3 Requerimientos e impactos de la tecnología.....	147

## **CAPÍTULO 6**

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA.....	151
6.1 Elementos de la evaluación económica.....	151
6.2 Análisis de la viabilidad económica.....	156

## **CAPÍTULO 7**

7. RESULTADOS.....	176
7.1 Resultados obtenidos.....	176
7.2 Análisis de los resultados.....	178
7.3 Limitaciones de aplicabilidad de resultados.....	179

## **CAPÍTULO 8**

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	182
8.1 Conclusiones.....	182
8.2 Recomendaciones.....	185

## **APÉNDICES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ABREVIATURAS**

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral  
ASTM American Society for Testing and Materials

## SIMBOLOGÍA

$e^-$	Electrones
H	Hidrógeno
$H_2O$	Agua

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1	Fhjk: Medios De Conversión De Energía..... 10
Figura 2.2	Vc..... 12
Figura 2.3.	Proceso De Conversión De Energía Para Biomosas Residuales X..... 14
Figura 2.4	Turbina de gas – ciclo combinado con recuperador de calor 16
Figura 2.5	Nuez De Palma Africana.....21
Figura.2.6	Desfibrador.....22
Figura 2.7	Tambor Pulidor..... 23
Figura 2.8	Despedregador..... 24
Figura.2.9	Secador de Nuez de Palma Africana..... 25
Figura.2.10	Detalle de los Componentes Principales de la Palmisteria.... 27
Figura 2.11	Palmisteria –Plano General..... 28
Figura 2.12	Sistema de Hidrociclones..... 29
Figura.2.13	Almendra Húmeda (A) y Cuesco Húmedo (B)..... 30
Figura 2.14.	Secador de Almendra (A) y Sistema de Trasportación de la Almendra..... 31
Figura 2.15	Prensa de Almendra para Extracción de Aceite(A) y Molino de Torta de Palmiste (B). 32
Figura.2.16	Tanque Sedimentador (A), Tanque Gemelo (B), Filtro Niagra (C), Filtro Prensa (D)..... 34
Figura 3.1	Cangilón para Elevador de Nuez de Palma Africana.....42
Figura 3.2	Sistema de Limpieza de la Nuez de Palma Africana..... 43
Figura 3.3	Tambor Clasificador (a) y Rompedores de Nuez (b)..... 45
Figura 3.4	Sistema de Hidrociclón – Cilindro Separadores de Almendra/ Cuesco Húmedo..... 46
Figura 3.5	Clarificadores – Serpentes Fluidizados con Vapor..... 48
Figura.3.6	Sistema de alimentación superior de biomasa al caldero.....49
Figura.3.7	Esquema interno del hogar del caldero a biomasa, parrilla conformada por <b>galletas</b> metálicas..... 50
Figura.3.8	Sistema depurador de cenizas de combustión..... 51
Figura 3.9	Tipo de ceniza cristalizada, obtenida del hogar del caldero.... 52
Figura 3.10	Geometría de un tanque de almacenamiento de agua residual del proceso..... 54
Figura 4.1	Recepción de Materia Prima..... 75
Figura 4.2	Impurezas extraídas del proceso de limpieza de la nuez..... 76

Figura 4.3	Proceso de rompimiento de la nuez.....	77
Figura 4.4	Separación del cuesco seco y aprovechamiento de la almendra por hidrociclones.....	79
Figura 4.5	Cuesco Seco y Polvos de Palmiste (a), Cuesco Húmedo (b) y Almendra Húmeda(c).....	80
Figura 4.6	Proceso de secado y transportación de almendra.....	81
Figura 4.7	Proceso de Prensa y Extracción de aceite y Empacado torta de Palmiste.....	83
Figura 4.8	Torta de palmiste sin moler (a) y torta de palmiste molida (b)	83
Figura 4.9	Proceso de refinación del aceite.....	85
Figura 4.10	Sub productos obtenidos del filtro prensa, y tanque sedimentador, como residuos de aceite (a), ariche (b) y lodos del filtro prensa (c).....	86
Figura 4.11	Balance de masa – Nuez de Palma Africana y sus derivados.	87
Figura 4.12	Variación de la eficiencia del caldero en términos de la temperatura de salida para un consumo de $0.5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .....	98
Figura 4.13	Variación de la Eficiencia del Caldero en Términos de la Temperatura de Salida para un Consumo de $0.56 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .....	99
Figura 4.14	Variación de la Eficiencia del Caldero en Términos de la Temperatura de Salida para un Consumo de $0.58 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .....	100
Figura 4.15	Balance de Energía Condensador – Caldero.....	109
Figura 4.16	Consideraciones termodinámica de expansión del vapor exhausto.....	113
Figura 4.17	Balance de masa de agua y combustibles para el caldero...	121
Figura.4.18	Balance de energía Térmica y termoquímica del proceso....	122
Figura 4.19	Esquema Proceso – Balance Masa y Energía.....	123
Figura 4.20	Balance de Masa (agua), Energía (térmica, termoquímica) y Potencia Eléctrica Instalada.....	124
Figura 4.21.	Esquema Gráfico de Composición Física de la Biomasa Húmeda.....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Principales productos agroindustriales del Ecuador, en términos de su biomasa residual potencial. ....	36
Tabla 2	Coeficiente de Residuos.....	37
Tabla 3	Tabulación de datos, detalle de aprovechamiento de madera en los años mostrados.....	38
Tabla 4	Detalle del Potencial Energético por cada Sector Principal agroindustrial y flores de, país.....	38
Tabla 5:	Detalle de capacidad eléctrica instalada por área y consumidores de proceso.....	65
Tabla 6	Consumo y Demanda de Electricidad en el Año 2013-2014.....	71
Tabla.7	Análisis de Sensibilidad para Determinar el Flujo Másico de Vapor de Agua.....	92
Tabla.8	Análisis de Sensibilidad para Determinar la Eficiencia del Caldero en Función del Consumo de Agua y la Temperatura de Salida de los gases.....	96
Tabla 9	Análisis de Decisión, para Determinar las Condiciones Térmicas de Operación del Caldero.....	101
Tabla 10	Tabulación de Datos para Determinar las Condiciones Térmicas de Secado.....	115
Tabla 11.	Relación Aire/Combustibles para cada Posible Exceso de Aire en el Proceso de Combustión.....	129
Tabla 12	Estimación del Poder Calorífico en Función del Contenido de Humedad.....	134
Tabla 13:	Detalle del Contenido De Minerales, del Cuesco de Palma Africana Y Composición De Minerales de la Cenizas Post Combustión.	148
Tabla 14:	Rango para el Índice Dos y Tres Para el Cuesco de Plama. ...	150
Tabla 15	Detalle Económico del Costo Inicial del Proyecto- Caso 1.....	158
Tabla 16	Costo Unitario de Generación Eléctrica – Caso 1.....	159
Tabla 17	Costo Unitario de Generación Eléctrica – Caso 2.....	161
Tabla 18	Costo unitario de generación eléctrica – Caso 1.....	162
Tabla 19	Detalle Económico Del Ingreso Atribuido Por El Costo de Producción de Vapor.....	164
Tabla 20	Detalle del Consumo y Demanda de Electricidad Anual para la Planta del Proceso Productivo.....	165

Tabla 21	detalle de la Inversión Inicial del Proyecto para el Primer Caso a Considerar.....	168
Tabla: 22	Detalle del Flujo Neto de Efectivo para el Primer Caso.....	168
Tabla 23	Cálculo de la TIR para el primer caso establecido.....	169
Tabla 24	Detalle Del Costo Inicial Del Proyecto.....	172
Tabla 25	Cálculo de la TIR.....	173

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo.- Factura de electricidad de la planta.

Anexo.- Ficha de registro de producción

Anexo.- Ficha de registro de producción

## **INTRODUCCIÓN**

Mediante el esquema del presente trabajo final de graduación, el lector podrá abarcar de manera global un panorama del desarrollo del presente estudio.

En el capítulo 1 podrá denotar los antecedentes del presente trabajo, fundamentos que permitieron establecer los objetivos principales para incursionar en el presente estudio, evaluando si, potencialmente se presenta la vías necesarias para determinar la factibilidad técnico y económica, de implementar en una planta extractora de aceite de palmiste, una planta piloto de cogeneración eléctrica a base de su biomasa residual.

Mediante el capítulo 2, se detallará todos los fundamentos teóricos disponibles y requeridos para comprender el caso objetivo, y permita evaluar las condiciones presentes del caso, fundamentando técnicamente las posibles soluciones que se adapten a los objetivos del estudio, partiendo de un conocimiento básico del proceso productivo de la empresa y demostrar que existe la probabilidad de establecer una planta de cogeneración eléctrica, en base a la identificación de los principales residuos agroindustriales del Ecuador, y así poder establecer el sector más adecuado para la evolución de los objetivos del presente estudio.

A partir del capítulo 3, toma la dirección técnica el presente estudio, identificando, determinando, y cuantificando los recursos e insumos como agua y combustibles para todo el proceso productivo de la planta, además de identificar la demanda eléctrica facturable que requiere el proceso, para su pleno funcionamiento, estableciendo además la capacidad eléctrica instalada de los equipos eléctricos del proceso.

El punto crítico de interés lo define el capítulo 4, debido a que una vez identificado el proceso productivo de la planta, estableciendo sus fundamentos teóricos, evaluando el requerimiento energético e identificando sus capacidades de planta, se procede a determinar, y valorar el balance de masa (agua y combustible) y energía (térmica y termoquímica), en base a la capacidad eléctrica instalada, evaluando al final el potencial másico de la biomasa residual, con la que dispondrá la planta de cogeneración eléctrica.

Una vez identificado las condiciones térmicas de la planta y la disponibilidad útil del combustible para el sistema propuesto, podrá denotar en el capítulo 5 que se establecerá la tecnología física adecuada en base a los requerimientos y condiciones energéticas de la planta, donde se detallará los componentes principales de la planta de cogeneración, identificando los requerimientos e impactos que demande la tecnología a proponer.

Mediante el capítulo 6, desde el punto de vista gerencial se evaluará económicamente la propuesta, identificando los elementos influyentes en los costos e ingresos debido al proceso productivo de la planta de cogeneración eléctrica,

Finalmente se compararán los resultados obtenidos versus los resultados esperados que se detallan en el capítulo 7, además de establecer las limitaciones que el estudio demanda, para lo cual se requerirá considerar los supuestos asumidos, partiendo de la hipótesis planteada de acuerdo a las directrices del presente estudio.

Y de acuerdo al capítulo 8 se detallarán las conclusiones y recomendaciones, para el presente estudio propuesto.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes.

Ecuador, un país con aproximadamente 15.7 millones de habitantes<sup>3</sup>, siendo uno de los países más pequeños de la región de América del Sur, después de Uruguay, se ha convertido en el segundo productor de aceite de palma a escala regional, obteniendo así el 15.1% de la producción manteniéndose por debajo de Colombia con una participación del 31.6%, como lo reporta la consultora Oil World<sup>4</sup>, por lo cual el país según reporta ANCUPA(Asociación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite) la producción de aceite ha incrementado a un 10% anual en los

---

<sup>3</sup> Tomado del link: <http://www.datosmacro.com/demografia/poblacion/ecuador>

<sup>4</sup> Tomado del link: [http://www.revistalideres.ec/mercados/aceite-palma-ecuatoriano-exporta\\_0\\_673132693.html](http://www.revistalideres.ec/mercados/aceite-palma-ecuatoriano-exporta_0_673132693.html)

últimos 10 años<sup>5</sup>, esto indica a su vez el incremento de la necesidad de establecer una disposición final adecuada de los residuos generados del proceso productivo, con que se obtengan un menor impacto ambiental.

Esto conlleva a disponer la atención de la industria aceitera, planteando estrategias energéticas, siendo eficientes en la utilización de recurso e insumos, proporcionalmente a ello, disminuyendo sus costos de producción y el impacto ambiental debido al proceso productivo, y como resultado el incremento de su utilidad neta.

Teniendo en consideración que aproximadamente existen 270 000 hectáreas sembradas, principalmente entre las provincias de Los Ríos, Santo Domingo y Esmeraldas<sup>6</sup>, lo que representa aproximadamente, una producción de 539 000 toneladas métricas de aceite de palma<sup>7</sup>, eso significa que aproximadamente 2.6 millones de toneladas de fruto fresco de la palma aceitera se procesaron, obteniendo una producción estimada de 560 000 toneladas de biomasa residual, como raquis, fibra del fruto fresco, cuesco y fibra de nuez del fruto fresco; cabe resaltar que las cifras

---

<sup>5</sup> Tomado del Link: [http://www.revistalideres.ec/mercados/aceite-palma-ecuatoriano-exporta\\_0\\_673132693.html](http://www.revistalideres.ec/mercados/aceite-palma-ecuatoriano-exporta_0_673132693.html)

<sup>6</sup> Tomado del link: <http://fedapal.com/web/files/estadistica%20nacional/estrat1.pdf>

<sup>7</sup> Tomado del link: <http://fedapal.com/web/files/prod.pdf>

estimadas de producción de biomasa, considerando como coeficiente de residuo del 22% (Ton Biomasa/Ton F. Fresco).

Sin embargo se conoce bajo referencias técnicas, que cada planta extractora de aceite de palma y sus derivados, utilizan su propia biomasa residual para la producción de vapor, lo que presenta la complejidad es en estimar su nivel de utilización, debido a que depende de la capacidad de planta y su nivel productivo, lo cual varía de la demanda del mercado del aceite.

Dentro del Sector industrial, se puede identificar empresas que se dedican a la producción y abastecimiento de electricidad, utilizando como combustible, biomasa residual, proveniente de la caña de azúcar (bagazo de caña) a través de cogeneración eléctrica, como es el caso de Ecoelectric proveniente del Ingenio Valdez, con una generación de aproximadamente 28 MW eléctricos<sup>8</sup>, así también como es el caso del Ingenio San Carlos con una generación aproximada de 28 MW eléctricos<sup>9</sup>, de igual manera utilizando como biomasa residual el bagazo de la caña de azúcar; ambos casos mencionado, presentan la versatilidad de su generación eléctrica para abastecer su autoconsumo con la disponibilidad de la energía

---

<sup>8</sup> Tomado del link:

<http://www.eluniverso.com/2007/06/20/0001/9/3FF37FDB72E74AB486406D2069D23FF7.html>

<sup>9</sup> Tomado del Link: <http://www.sancarlos.com.ec/portal/es/web/ingeniosancarlos/punto-verde-cogeneracion>

eléctrica residual proveerla al sistema de electrificación nacional, con ello disminuyendo así la utilización de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

Sin embargo existen otros ejemplos en la industria ecuatoriana como es el caso de la empresa extractora de aceite de palma y de aceite de palmiste, Palmera de los Andes, proveniente de la empresa comercializadora de aceites Danec S.A, con una generación eléctrica de hasta 1,2 MW eléctricos<sup>10</sup>; utilizando como fuente de combustible, su biomasa propia residual, la cual consiste en una mezcla entre fibra del fruto fresco de la palma, fibra y cuesco de nuez proveniente del fruto fresco de la palma aceitera.

Esta metodología que presenta principalmente como ventajas el ahorro en el consumo de combustibles fósiles, disminuyendo así el impacto ambiental que las plantas extractoras generan, convirtiendo así en una herramienta para el sector industrial se encamine hacia un sistema de gestión energética, involucrando un desarrollo energético, siendo eficiente principalmente en el uso de recursos e insumos para el proceso productivo.

---

<sup>10</sup> Gerencia de Planta - Visita Técnica a la planta Mayo 2014.

## **1.2 Objetivo General.**

Para una planta extractora de aceite de palmiste, evaluar la disponibilidad energética de la biomasa residual (fibra y cuesco de nuez de la palma africana), como fuente de combustible para determinar la factibilidad técnico y economía de establecer una central de generación eléctrica por cogeneración.

## **1.3 Objetivos Específicos.**

Identificar el consumo de los recursos e insumos que demanda el proceso de extracción de aceite de palmiste.

Establecer el balance de masa y energía global del proceso de producción.

Evaluar la disponibilidad de biomasa residual del proceso de producción.

Evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar una central de generación eléctrica por cogeneración.

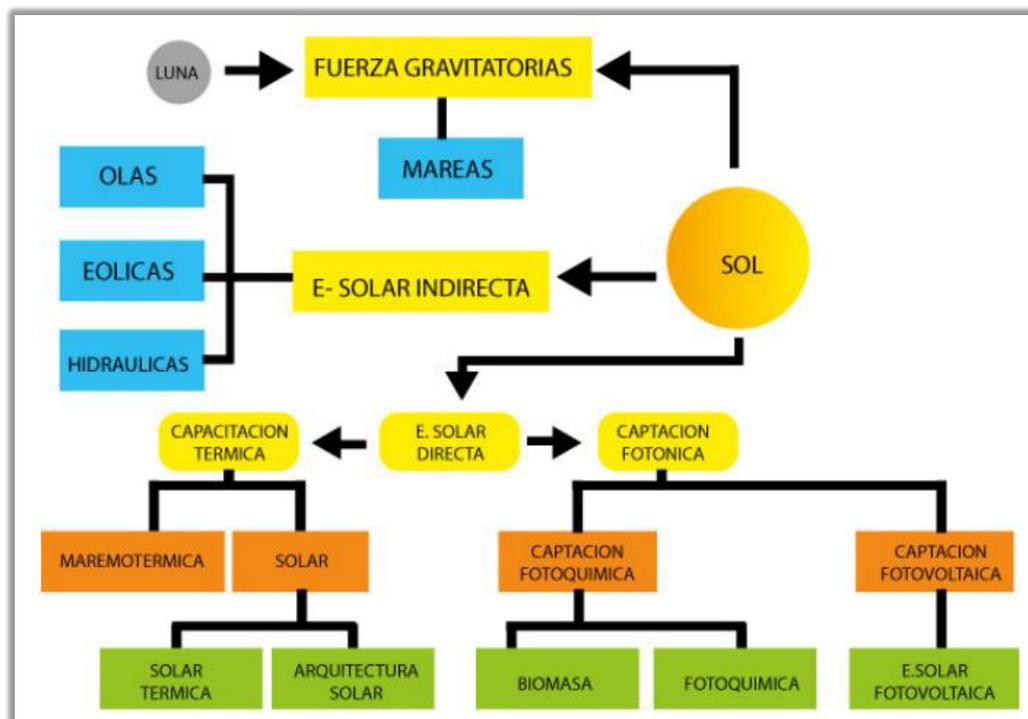
# CAPÍTULO 2.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Sistemas de Conversión de Energía.

El ser humano al pasar desde el inicio de los tiempos, ha mantenido la constancia de identificar e implementar en su estilo de vida, los mecanismos para satisfacer sus necesidades energéticas, como por ejemplo en forma de luz, calor entre varias otras aplicaciones; utilizando leños para generar fuego y satisfacerse del calor, e incluso utilizar la energía inmersa en las corrientes de agua para la generación de energía eléctrica a través de un sistema motriz.

En términos generales un sistema de conversión de energía, es el medio de aprovechamiento de una energía primaria, que puede darse a través de medio tecnológico de transformación de ámbito motriz o térmico, como también puede darse a través de un medio fotónico, como se puede mostrar en la figura 2.1.



Fuente: LIBRITO DOC

**FIGURA 2.1 FHJK: MEDIOS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA.**

Por tal motivo la importancia de tener el conocimiento teórico los diversos tipos de sistemas que permiten convertir una energía primaria, como un combustible fósil, o incluso la energía del sol, en una energía de consumo para el ser humano o energía secundaria, como por ejemplo, la electricidad, o calor en sus varias representaciones térmicas; para lo cual se mencionará a continuación, en síntesis los principales sistemas de conversión de energía.

## **Energía de la Biomasa.**

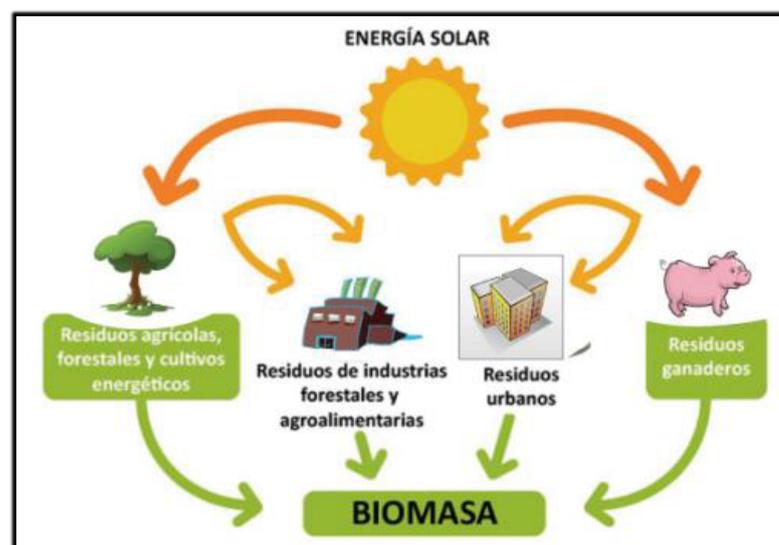
La importancia de producir energía en forma de calor parte desde inicios de la era humana, donde el hombre usaba la energía de la biomasa como su principal fuente de energía útil, fuente que se encontraba en cuecos de árboles, leños, e incluso ramas caídas; desarrollando la capacidad de diferenciar empíricamente el nivel de utilización de la biomasa, de acuerdo a su capacidad calórica, intuyendo que influye significativamente el contenido de humedad de la biomasa, y como producto mayor capacidad de generar calor contendrá.

La tecnología actual ha permitido desarrollar nuevas estrategias en la facilidad del aprovechamiento energético de la biomasa; tecnologías que influyen en el desarrollo energético del sector industrial.

El factor principal que interviene en la energía calórica de la biomasa residual, es el contenido de humedad, que por lo general oscila entre el 20% y 60% como es el caso de la leña verde; el contenido de humedad en la biomasa, siendo un acarreador de

energía térmica, debido a la energía térmica que requiere el agua para evaporarse<sup>11</sup>.

Biomasa se conoce a todo material orgánico con un potencial energético aprovechable. Las fuentes de biomasa, puede provenir de 4 tipos diferentes: natural, seca, húmeda, y cultivos energéticos. Sin embargo los recursos de biomasa son de tipo agrícola y forestal, así como se lo muestra gráficamente en la figura 2.2, las diversas fuentes de biomasa.



Fuente: LIBRITO DOC

**FIGURA 2.2 VC**

Es muy importante para el lector que tenga en consideración la representación porcentual del contenido de biomasa en función del

<sup>11</sup> LIBRITO DOC

**coeficiente de residuo**, valor que establece la relación entre el contenido de biomasa residual y el producto cosechado, para mayor conocimiento en la tabla1, se muestra ciertas biomásas con su respectivo coeficiente de residuo.

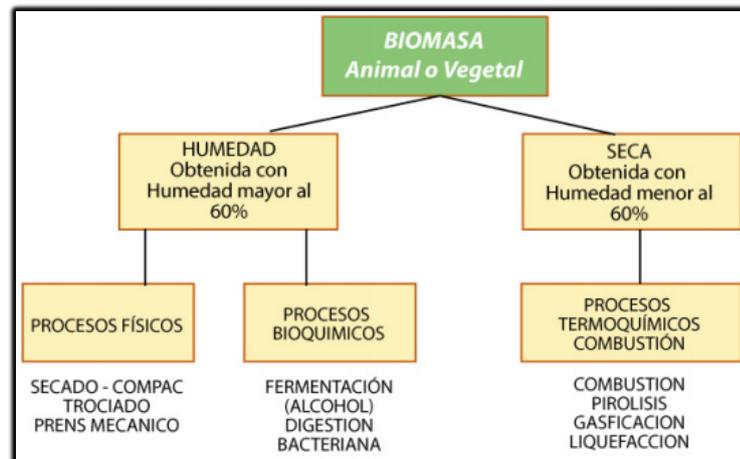
El coeficiente de residuo, es utilizado principalmente para estimar la producción de biomasa para una cosecha específica.

### **Conversión de Energía de la Biomasa.**

Para el aprovechamiento de la energía contenida en la biomasa, pueden darse por los siguientes procesos de conversión, como son:

- *Proceso Físico,*
- *Proceso de Combustión o Conversión directa,*
- *Proceso Termoquímico,*
- *Proceso Bioquímico.*

Los procesos de conversión de energía mencionados se aplican a todo tipo de biomasa, para lo cual mediante la figura 2.3, se muestran para cada tipo de biomasa el proceso de conversión específico.



**FIGURA 2.3 PROCESO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA  
PARA BIOMASAS RESIDUALES**

Para el presente trabajo, se detallará el proceso de conversión de energía utilizado, para lo cual se referirá a continuación.

#### **Proceso de Conversión Directa.-**

El proceso consiste en destinar la biomasa residual, dentro de un hogar para su combustión directa, donde la energía termoquímica contenida en los gases de combustión son utilizados para que a través de un sistema de intercambiador de calor, producir una energía útil, por lo general energía térmica, produciendo vapor a través de un caldero.

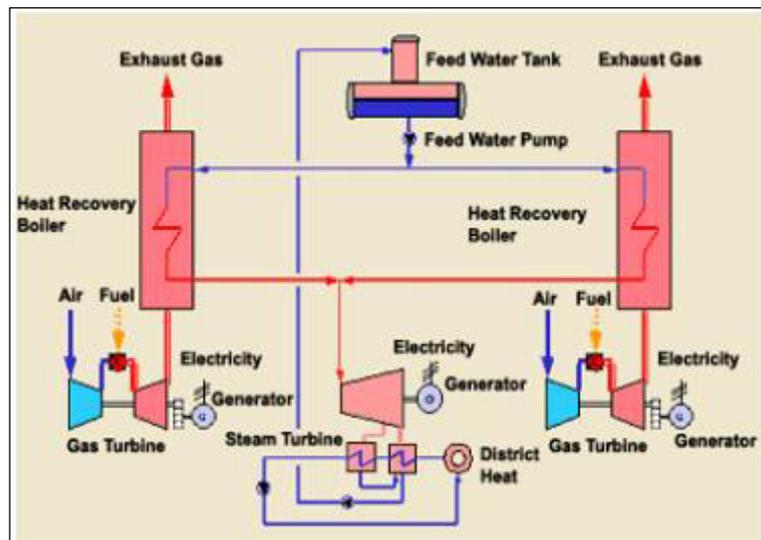
A partir de un proceso de conversión directa, parte la utilización de la energía secundaria como fuente de energía para un proceso de ciclo combinado, por cogeneración.

**Cogeneración.-**

Cuando se requiere producir un tipo de energía en especial, donde demande una energía en forma de calor y trabajo, se denomina cogeneración, debido a que a partir de una energía útil en forma de calor, se utiliza para generar la energía de interés esta podría ser energía en forma de electricidad, partiendo que la energía en forma de calor se trasmite en energía motriz, y proporcional a ellos la generación de energía eléctrica.

Parte del principio de ciclo combinado, utilizando o recuperado la energía residual en forma de calor proveniente de los gases de combustión para la producción de vapor y mediante una expansión en una turbina, generar energía motriz para establecer energía eléctrica.

Esto permite incrementar la eficiencia en la generación eléctrica del sistema global de generación. Un ejemplo clásico es aprovechando la energía residual de las turbinas a gas como se muestra en la figura.



Fuente: Ilustración tomada del link:

<http://www.stilar.net/Archivos%20Web/cogeneracion.pdf>

**FIGURA 2.4 TURBINA DE GAS – CICLO COMBINADO CON  
RECUPERADOR DE CALOR.**

Par entender el resto de proceso, comenzando por el proceso físico, es simplemente la transformación física en fitomasa residual, como por ejemplo, el secado, astillados, y todo proceso que intervengan un cambio físico de la biomasa.

El proceso de conversión bioquímica, es básicamente utilizar las características bioquímicas de la biomasa como fuente de energía, es decir debido a la intervención de microorganismo, de acuerdo a una función dada, los mismos generan energía, para lo cual intervienen en la producción de combustibles gaseosos y líquidos.

A diferencia de ll resto de proceso de conversión, el proceso termoquímico, trasforma una biomasa de cierto contenido energético y en base a un proceso termoquímico como gasificación o pirolisis, o permiten que la biomasa resultante presente una mayor contenido energético incrementando su densidad, por lo cual se obtendría un combustible de tipo sólido, liquido o gaseosos para generar calor o electricidad.

### **Energía Solar.-**

Energía fotónico emitida por el sol, a una intensidad en promedio de aproximadamente  $4 \frac{\text{KW-h}}{\text{m}^2.\text{día}}$ , al menos en la zona del ecuador.

Prácticamente se considera que la energía proveniente del sol es inagotable, es una de energías totalmente dependiente para la flora, fauna e incluso para la supervivencia del ser humano, debido a que su energía proporciona e incluso influye en los cambios estacionales alrededor del mundo.

Prácticamente la energía emitida por el sol, puede ser utilizada por el ser humano por medio de celdas fotovoltaicas, para la generación de energía eléctrica, o incluso colectores solares para la producción de energía en forma de calor.

### **Energía Eólica.-**

Básicamente es la energía contenida en las corrientes de aire, provocada por el intercambio de energía entre flujo de corrientes de aire caliente y frío.

La energía eólica, es posible aprovecharla por medio de generadores eólicos que reciben la energía cinética de los vientos que chocan contra las aspas de los aerogeneradores, transmitiendo una energía motriz en los rotores y proporcional a ello se induce un flujo eléctrico de energía.

Analizando globalmente el planeta los flujos más intensos de aire se dan en las zonas de los polos, siendo aire frío, más en la zona ecuatorial convergen los flujos de aire caliente.

La potencia de los aerogeneradores está en función de la velocidad del aire al cubo, en términos de su densidad, para la envergadura de las aspas de los aerogeneradores, cabe resaltar que la densidad del aire depende la zona o altitud que se considere aprovechar el recurso, además si es en las zonas montañosas debido a que la presión en las cuestas de las zonas montañosas aumenta debido a la compresibilidad que provocan las montañas sobre el flujo de aire.

### **Energía Hídrica.-**

Es la energía contenida en las corrientes de agua que van en descenso desde las zonas montañosas hasta el océano, el producto de la energía cinética y potencial del flujo de agua, influye en la potencia que se podría aprovechar en el caudal de cualquier río.

Para aprovechar la energía en una corriente de agua, se debe considerar el caudal efectivo, es decir del caudal normal del río, disminuirle el caudal ecológico, y mediante un mecanismo motriz, inducir el flujo de agua para inducir por medio de un rotor un flujo de energía eléctrica, por lo general para toda fuente de energía es necesario el medio para convertir la energía primaria en energía secundaria de tipo eléctrica.

Para determinar la potencia eléctrica que se esperaría generar está en función de la densidad del agua, por la constante gravitacional, en términos de la altura efectiva, es decir considerando la caída del agua, por la eficiencia de conversión de acuerdo al tipo de energía en términos de energía eléctrica.

### **Tipos varios de energía.-**

Aunque se encuentra en temas de investigación, la **energía del mar** es aquella que aprovecha la diferencia de nivel entre las mareas, en función de la temperatura de las corrientes submarinas, así también

la **energía mareomotriz** que consiste en aprovechar la energía que contienen las áreas por influencia de las estaciones lunares, por lo general a mayor energía mareomotriz cuando la estación lunar son máximas, como luna llena y luna nueva, así mismo la **energía mareotermica**, que aprovecha la energía térmica contenida en las mareas debido a los gradientes térmicos con respecto a la profundidad y condiciones atmosféricas, y finalmente la energía contenida en las olas superficiales, conocida como **energía undimotriz**, para lo cual influye los vientos, las fuerzas de atracción gravitacional, entre varios agentes externos, y finalmente la energía contenida en las capas terrestres conocida como **energía geotérmica**, para lo cual existen materiales que permiten acarrear la energía contenida en forma de calor, aguas termales, e incluso la energía contenida en la lava de las profundidades de la tierra.

## **2.2 Proceso de Extracción de Aceite de Palmiste.**

De acuerdo a la sección 3 del presente trabajo, se podrá detallar las características técnicas de cada componente del proceso productivo, mediante la presente sección podrá denotar la gestión productiva de cada componente o equipo del proceso, para lo cual el proceso productivo de la empresa consiste en lo siguiente.

### Recepción de Materia Prima.-

La nuez de la palma africana (ver figura 3.5) se recibe en camiones o volquetas, entre 5 a 20 toneladas de capacidad, y se lo deposita en un foso de tipo triangular, para posterior a ellos, mediante un elevador de cangilones deposita la nuez en el ducto principal, a continuo al desfibrador.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 2.5 NUEZ DE PALMA AFRICANA.**

### Desfibrador.-

Es un cambio de sección que a través de un tornillo sin fin (internamiento), transporta la nuez y la deposita en una columna neumática vertical como se puede apreciar en la figura 2.6, el cual mediante un flujo de aire vertical ascendente arrastra la fibra de la nuez y por gravedad deja caer la nuez para alojarla en el tambor pulidor.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA.2.6 - DESFIBRADOR**

### **Tambor Pulidor.-**

Es un tambor rotatorio de aproximadamente  $1 \frac{m}{s}$ , que mediante unos agujeros perforados separa la nuez de objetos pesados como se lo puede ilustrar en la figura 2.7, y objetos fibrosos con un peso equivalente a la nuez, los cuales la presión del aire de succión de la columna neumática no logro arrastrarlo, el tambor pulidor utiliza el movimientos para que entre las nuez logren retirar pelusas u objetos fibrosos de si, además de separar material en muy diminuto, en gran parte cuesco o almendras partidas.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 2.7.- TAMBOR PULIDOR.**

### **Despedregador.-**

Es una columna neumática vertical, similar características al desfibrador como se indica a continuación en la figura 2.8, pero en este caso la presión de velocidad del flujo de aire arrastra la nuez o todo material de similar densidad, el objetivo de interés es garantizar la separación de objetos pesados como piedras, objetos metálicos entre otros, del flujo de nuez, y así garantizar que al secador se almacene solamente nuez de palma.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

### **FIGURA 2.8 DESPEDREGADOR.**

#### **Secador de nuez.-**

Es un tanque de sección rectangular, que permite la residencia de la nuez para lo cual de manera ilustrativa puede dirigirse a la figura 2.9, para que a través de un flujo de aire caliente permite secar la nuez extrayéndole la humedad hasta un contenido del 12%, entrando al sistema con aproximadamente el 15% de humedad del fruto, la características del silo secador, es que mediante tres radiadores calientan el aire, registrando tres zonas de calor a 40°C, 60°C y 80°C.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA.2.9 SECADOR DE NUEZ DE PALMA AFRICANA.**

### **Palmisteria.-**

Mediante un túnel de succión de aire, desde la parte inferior del secador de nuez, transporta la nuez hacia la zona de palmisteria, que consiste de 3 secciones en uno, primero conformado por el tambor clasificador como se muestra en la figura (a), el cual separa la nuez ingresada, en 3 dimensiones establecidas por 3 secciones perforadas, estableciendo 3 flujos de nuez, cayendo por gravedad, hacia los rompedores o *ripple mill* los cuales se encargan de estrellar la nuez contra las paredes del rompedor por medio de un

tambor rotatorio a alta velocidad como se muestra en la figura (b), quebrando la cascara de la nuez separándola de la almendra, y finalmente, los flujos de cuesco, almendra, y polvos caen en un túnel neumático vertical, graduado la presión de velocidad a través de un sistema de dampers, donde la columna arrastra de acuerdo a la presión establecida el cuesco seco, y por gravedad deja caer la almendra seca para que por medio de una banda transportadora dirigir el flujo de nuez hacia el secador de nuez, dentro del flujo del cuesco conlleva en gran parte de almendras partidas, por lo que a través de un sistema de esclusas como se muestra en la figura (c), permiten un cambio de presión en el túnel de arrates del cuesco (el cuesco seco es arrastrado por medio de un sistema de succión hacia un banda trasportadora para alojarlo en el patio de almacenamiento), permitiendo que recuperar en gran manera la almendra potencialmente perdida, donde la esclusa, dirige el flujo de cuesco y almendra recuperada hacia el sistema de separación por densidad, o hidrociclón, para que el lector pueda ilustrarse desde un plano general, puede observar la figura 2.11 donde muestra el área de la palmisteria de la planta.



(c)



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA.2.10 DETALLE DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PALMISTERIA.**

(a)

(b)



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 2.11 PALMISTERIA –PLANO GENERAL.**

### **Hidrociclones.-**

Mediante la figura se ilustra un plano general del sistema de hidrociclones, es un sistema que utiliza agua en circulación para que por medio de un ciclón de agua establece 2 flujos de másicos, arrastrando desde la parte superior del contendor la almendra recuperada, de acuerdo a la separación previa por densidades, y

desde la parte inferior del tanque extrae el cuesco húmedo(ver figura (b)), para depositar ambos flujos másicos en dos sistema de transportación por separado, la almendra húmeda (ver figura (a)), en dirección hacia el secador de almendra, y el cuesco húmedo en dirección al patio de almacenamiento.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 2.12- SISTEMA DE HIDROCICLONES.**



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA.2.13 ALMENDRA HÚMEDA (A) Y CUESCO HÚMEDO (B)**

#### **Secador de almendra.-**

El objetivo del equipo es similar al secador de la nuez (ver figura a), la diferencia que en este caso almacena la almendra, garantizando extraerle la humedad requerida hasta establecer entre 2% al 5% de contenido de humedad, para transportar hacia el área prensa, por medio de un ducto de succión de aire (ver figura b), que mediante un sistema de elevador de cangilones retira desde la parte inferior

del secador y lo deposita en la parte superior del sistema de succión, que consta de un sistema de soplado, induciendo una presión de aire donde es transportado la almendra.



(a)

(b)

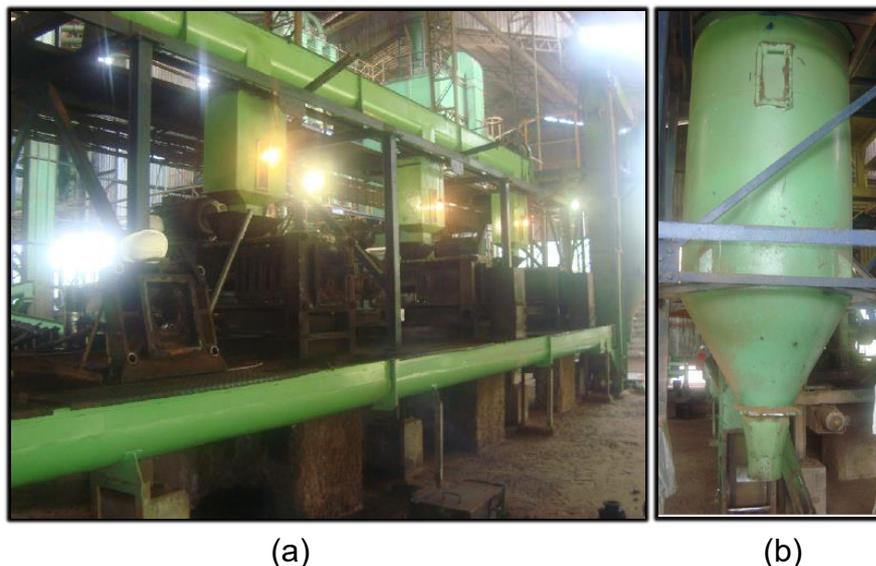
Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 2.14. SECADOR DE ALMENDRA (A) Y SISTEMA DE TRASPORTEACIÓN DE LA almendra (b)**

Prensa / Extracción del aceite de palmiste – Molino de torta de palmiste.

Consta de un sistema de 4 prensas tipo monotornillo sinfín (ver figura a), que estrella la almendra arrastrada por el tornillo contra

una superficie metálica dentro de prensa, a alta presión mecánica, para así extraer el aceite contenido en la almendra, estableciendo dos salidas, por la parte inferior el aceite extraído contenido con impurezas sólidas y por la parte frontal el residuo sólido del proceso de extracción, la torta de palmiste, que es dirigida por medio de un sistema de transportación por medio de bandas y es elevado por un sistema de cangilones y lo deposita en un tanque tipo cono (ver figura b) el cual mediante un sistema de prensa muele la torta de palmiste y al final la deposita en un sistema de empaque en sacos de aproximadamente 50 libras.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 2.15 PRENSA DE ALMENDRA PARA EXTRACCIÓN DE ACEITE(A) Y MOLINO DE TORTA DE PALMISTE (B).**

### **Tanque Sedimentador-Filtros – Tanques Gemelos.-**

De manera general, se lo puede caracterizar como el sistema de refinación del aceite, el cual consiste en depositar el aceite extraído de las prensas, y es bombeado hacia el tanque sedimentador como se muestra en la figura (a) el cual por densidad permite que se asienten los residuos sólidos en la parte inferior del tanque, lo cual al cabo de la jornada laboral, extraer el primer subproducto luego de la torta de palmiste, conocido como el ariche, desde la parte superior del tanque se extrae el aceite y por medio de un sistema de filtros **Niagra** ( ver figura (c)) y filtro **Prensa**(ver figura (d)), extrae el resto de impurezas sólidas, y se alojan en los filtros que al final de la semana se limpian y una pequeña parte del aceite es bombeado de nuevo al tanque sedimentador para garantizar la eliminación de material sólido, finalmente el aceite es bombeado a un tanque conocido por tanque gemelo (ver figura (b)), la particularidad es que son dos tanques unidos cuya capacidad entre ambos es de 3 toneladas, la función es enviar por lotes de tres toneladas de aceite hacia los tanques generales de almacenamiento de aceite de palmiste para su posterior despacho.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA.2.16 TANQUE SEDIMENTADOR (A), TANQUE GEMELO (B),  
FILTRO NIAGRA (C), FILTRO PRENSA (D).**

### **Sistema de generación de vapor.-**

A pesar que no es parte del proceso productivo, pero mediante el caldero proporciona la demanda de calor al proceso, envía el vapor de agua hacia los secadores y clarificadores en la zona de refinación de aceite, entregando al proceso a aproximadamente  $0.5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  de vapor, opera con biomasa residual, actualmente cuesco y fibra de nuez extraído de la biomasa residual del proceso

### **2.3 Principales Residuos Agroindustriales del Ecuador.**

Mediante la tabla 1, se podrá detallar los principales productos agroindustriales del país, la particularidad de la tabla mostrada es que de acuerdo al coeficiente de residuo identificado que se detalla en la tabla 2, se procede a estimar el potencial de biomasa residual por cada sector agroindustrial identificado.

**TABLA 1**  
**PRINCIPALES PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES DEL**  
**ECUADOR, EN TÉRMINOS DE SU BIOMASA RESIDUAL**  
**POTENCIAL.**

<b>TENDENCIA DE PRODUCCIÓN DEL BANANO - Producción (T.M)</b>					
<b>Año</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Total Nacional	6002302	6701146	7637324	7931060	7427776
Región Sierra	262529	299039	367001	328426	564012
Región Costa	5724822	6380616	7257807	7582617	6862234
Región Oriental	14951	21491	12516	20017	1530
*Biomasa Potencial Nacional (Tallo Central del Racimo)	1200460	1340229	1527465	1586212	1485555

<b>TENDENCIA DE PRODUCCIÓN DE ARROZ (PADIS HÚMEDO/SUCIO). - Producción</b>					
<b>Año</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Total Nacional	1734135	1442052	1579406	1706193	1488941
Región Sierra	26095	39527	20689	19915	55074
Región Costa	1707853	1401331	1557837	1685798	1421958
Región Oriental	187	1194	881	480	910
Biomasa Potencial (Cascarilla)	201623,992	167664,1558	183633,9978	198375,2382	173115,8348

<b>TENDENCIA DE PRODUCCIÓN DE PALMA AFRICANA - Producción (T.M)</b>					
<b>Año</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Total Nacional	1809474	2204314	2226775	2850465	2097356
Región Sierra	240049	288585	216414	38724	303770
Región Costa	1394725	1765301	1743671	2169660	1639617
Región Oriental	174700	150429	266691	293565	153969
Biomasa Potencial Nacional Tusa/Fibra/Casca	886642,26	1080113,86	1091119,75	1396727,85	1027704,44

<b>TENDENCIA DE PRODUCCIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR -Producción (T.M)</b>					
<b>Año</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Total Nacional	8360001	9341095	8473141	8347182	8131819
Región Sierra	2833085	2548210	1912526	1670432	2443232
Región Costa	5526916	6792885	6560615	6676749	5688587
Región Oriental	0	0	0	0	0
Biomasa Potencial Nacional (Bagazo)	2508000,3	2802328,5	2541942,3	2504154,6	2439545,7

**Fuente:** MAGAP, Datos Estadísticos Agropecuarios/Resumen Ejecutivo/Sistema Estadístico Agropecuario Nacional-Sean/Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua/ESPAC/Quito-Ecuador-2011

**TABLA 2**  
**COEFICIENTE DE RESIDUOS.**

Producto	Residuos	Porcentaje (%)
Arroz con cascara	Cascarilla (Husk)	22
	Polvillo (Coarse Powder)	8,5
Caña de Azúcar	Hoja y Cogollo (Leaves)	31,8
	Bagazo (Bagasse)	36,3
Palma Africana (fruto)	Raquis (Bundel)	20
	Fibra y cascarrilla	15 a 8
Banano	Raquis (Bundel)	20
Madera	Chips, cuescos, varios	14

Fuente: A. Barriga – Catedra: Sistemas de Conversión de Energía. 2014 – Fuentes Técnicas consultadas.

Cabe resaltar que existe un producto de tipo forestal, y son los restos de madera en centro de procesamiento y de beneficio, por lo que de acuerdo al **MAE (2010) – Informe Técnico, Cadenas de aprovechamiento de la Madera en Ecuador**, mediante la tabulación de datos pertinentes el nivel de aprovechamiento de madera en el Ecuador presenta un comportamiento como lo demuestra la tabla 3.

**TABLA: 3**  
**TABULACIÓN DE DATOS, DETALLE DE APROVECHAMIENTO DE**  
**MADERA EN LOS AÑOS MOSTRADOS.**

Provincias / Año	2007	2008	2009
<b>Volumen Aprovechado de Madera(miles de m3) : Región Costa</b>			
Volumen Aprovechado	<b>947,5</b>	<b>1335,6</b>	<b>1371,1</b>
<b>Volumen Aprovechado de Madera(miles de m3) : Región Sierra</b>			
Volumen Aprovechado	<b>901,3</b>	<b>960,6</b>	<b>1037,9</b>
<b>Volumen Aprovechado de Madera(miles de m3) : Región Amazónica</b>			
Volumen Aprovechado	<b>356,947</b>	<b>479,3</b>	<b>526,8</b>

Fuente: MAE (2010) – Informe Técnico, Cadenas de aprovechamiento de la Madera en Ecuador

Por lo tanto mediante la tabla se detalla la evaluación de los principales biomasa residuales del sector agroindustrial y forestal del país.

**TABLA 4:**  
**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO POR CADA SECTOR**  
**PRINCIPAL AGROINDUSTRIAL Y FORESTAL DEL PAÍS.**

<b>EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOMASA</b>			
TOTAL NACIONAL	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
BAGAZO (T.M)	2'508.000	2'802.329	2'541.942
FIBRA/RAQUIS (T.M)	886.642	1'080.114	1'091.120
RESIDUOS VARIOS DE MADERA (T.M)	222.322	279.839	295.922
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>3'616 964</b>	<b>4'162 282</b>	<b>3'928 984</b>

Fuente: Estadísticos Agropecuarios/Resumen Ejecutivo/Sistema Estadístico Agropecuario Nacional-Sear/Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua/ESPAC/Quito-Ecuador-2011

Ministerio del Ambiente MAE (2011) - Informe Técnico - Cadenas Productivas de Madera en el Ecuador

Alfredo Barriga - Sistemas de Conversión de Energía, Notas de Curso, ESPOL, 2012.

Como es de interés para el presente trabajo, se puede denotar mediante la tabla, que uno de los principales recursos energéticos del país es la biomasa residual proveniente de la palma africana y sus derivados, específicamente fibra de palma y cuesco de nuez de la palma africana, teniendo una representación aproximada del 24.5 % de la producción total de biomasa entre la zonas principales de producción, por lo que se evidencia que existe un recurso para el cual establecer una central de cogeneración eléctrica, utilizando la biomasa residual del proceso de extracción de aceite de palma y de palmiste.

## **CAPÍTULO 3.**

### **3. IDENTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS E INSUMOS UTILIZADOS PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE.**

Previo al objetivo principal del trabajo, es necesario identificar o estimar todos los aspectos y condiciones de consumo y demanda de energía térmica, termoquímica, electricidad y todo recurso o insumo que conlleve el proceso productivo de la empresa, para poder establecer apropiadamente un balance de masa y energía, y poder cumplir con los resultados esperados.

#### **3.1 Características Técnicas de Planta por cada Componente del Proceso.**

De acuerdo a las condiciones de planta, mediante la presente sección, se detallará a continuación las características específicas de ámbito técnico o productivo que permita globalizar el aspecto

principal del equipo, sección o área de interés, en términos del proceso productivo.

Para mejor detalle ilustrativo, el lector puede acudir a la sección 2 (proceso productivo detallado) del presente trabajo donde se detalla en mejor manera cada componente del proceso productivo, en la presente sección solo podrá observar aspectos específicos de ciertos componentes, en las que se pudo obtener una representación gráfica debido a su importancia técnica, los componentes restantes se los detalla en base a la información proporcionada por la gerencia de planta.

### **Recepción de materia Prima – Nuez de palma africana.**

Se recibe la materia prima en camiones de 5 a 10 Toneladas de capacidad o volquetas de hasta 20 toneladas de capacidad, consta de un foso de aproximadamente 53 m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento, y al final del pozo de forma triangular con una longitud de aproximadamente 7 metros, donde que por medio de un tornillo sin fin al final del pozo, se eleva mediante un elevador de cangilones de tipo descarga debido a que no requiere ninguna fuerza externa para transportar la nuez, con una velocidad de desplazamiento de 0.5 a 1  $\frac{m}{s}$ , con una capacidad de transportación de aproximadamente 10  $\frac{Ton}{h}$  considerando un 80% de llenado, y

2800 cm<sup>3</sup> de volumen aproximado por cada cangilón como se puede ilustrar mediante la figura 3.1 cuyo material debe ser metálico de preferencia acero al carbono A36, conformando un elevador de aproximadamente 12 metros de altura para el sistema de recepción de nuez; la capacidad del cangilón puede variar de acuerdo a los requerimientos de producción.



Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica –  
Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

**FIGURA.3.1- CANGILÓN PARA ELEVADOR DE NUEZ  
DE PALMA AFRICANA,**

### **Limpieza de la nuez.**

El área de limpieza de la nuez está conformado por el desfibrador, que es un cambio de sección desde la recepción de la nuez hasta el tambor pulidor como se puede ilustrar en la figura (a), la columna neumática de sección rectangular que succiona la fibra, tiene una presión de velocidad vertical de aproximadamente  $9 \frac{m}{s}$ , por lo que el

flujo de aire arrastra la fibra de la nuez, cayendo por gravedad la misma al tambor pulidor, como se puede ilustrar en la figura (b), cuyo velocidad angular es aproximadamente  $1 \frac{m}{s}$ , el tambor pulidor es un cilindro rotatorio consta de 3 secciones de agujeros cuyo diámetro aproximado esta entre 3 y 5 cm, para separar la nuez de la impurezas, finalmente la nuez cae en una columna neumática vertical de sección igual al desfibrador (ver figura (b)), que arrastra la nuez hasta el silo secador de nuez separándola de impurezas como objetos pesados, la presión de velocidad es aproximadamente  $12 \frac{m}{s}$ .



(a)



(b)

Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica – Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

### **FIGURA3.2 SISTEMA DE LIMPIEZA DE LA NUEZ DE PALMA**

**AFRICANA.**

### **Secador de nuez.**

El secador de nuez, es un reservorio de sección rectangular con una capacidad de almacenamiento aproximado de 80 Toneladas de nuez, y mantiene tres secciones de calor, las cuales un conjunto de radiadores que inyectan aire caliente en contacto directo con la nuez, las tres zonas de calor registran una temperatura de 40°C, 60°C y 80°C (más adelante se tabulará la temperatura aproximada de secado de la nuez).

### **Palmisteria.**

La palmisteria es un de las zonas principales de la planta, comienza con la recepción de la nuez, y entra a un tambor rotatorio, llamado tambor clasificador, el cual mediante 3 zonas de perforación de sección rectangular de aproximadamente 0.5 a 1.5 cm, como se muestra en la figura (a), continuo a la separación por tamaño de la nuez, caen por gravedad en los rompedores conocidos también como **Ripple Mill** como se puede ilustrar en la figura (b), cilindro rotatorio con una intensidad de rotación mayor a 2000 r.p.m, el cual rompe la nuez y separa la almendra, en la mayor parte del flujo de material procesado, debido a que debido a la intensidad de rotación puede romper incluso la almendra aumentando las posibilidades de incrementar el flujo de almendra perdida.



(a)



(b)

**FIGURA B 3.3 TAMBOR CLASIFICADOR (A) Y ROMPEDORES DE NUEZ (B).**

**Sistema de separación del cuesco húmedo y almendra húmeda – Hidrociclones.**

Sistema de separación hidráulica, que en base a la densidad de la nuez y la almendra es separada en un hidrociclón centrífugo, el movimiento de impulsión lo realizan un sistema de bombeo, tanto los hidrociclones como las bombas deben de un material resistente a la abrasión. El sistema de bombeo genera dos flujos másicos, que son depositados en tanques por separados, uno para el cuesco húmedo y el otro para la almendra húmeda donde son recogidos por dos cilindros rotatorios que funcionen como cedazos, así como se muestra en la figura. Para que el lector pueda ilustrarse

técnicamente puede dirigirse a la sección 3.3 donde podrá notar las capacidades eléctricas de los motores para el sistema de bombeo.



Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica – Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

#### **FIGURA3.4 SISTEMA DE HIDROCICLÓN – CILINDRO SEPARADORES DE ALMENDRA/ CUESCO HÚMEDO**

##### **Secador de almendra.**

Los secadores de almendra son dos tanques de sección rectangular similar al secador de nuez, con la misma particularidad de establecer tres zonas de calor para inyectar aire en contacto directo con la almendra, el sistema de secadores de almendra consta de dos tanques cuyas capacidades es de 24 Toneladas y 36 toneladas aproximadamente.

Además poseen 2 sistemas de elevadores de almendra, cuya capacidad de cada cangilón considerando el 80% de llenado es de

$7 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , para este caso el material del cangilón es de plástico debido a que no existe influencia de abrasión del material transportado, además el sistema de elevadores presenta 12 metros de altura aproximadamente.

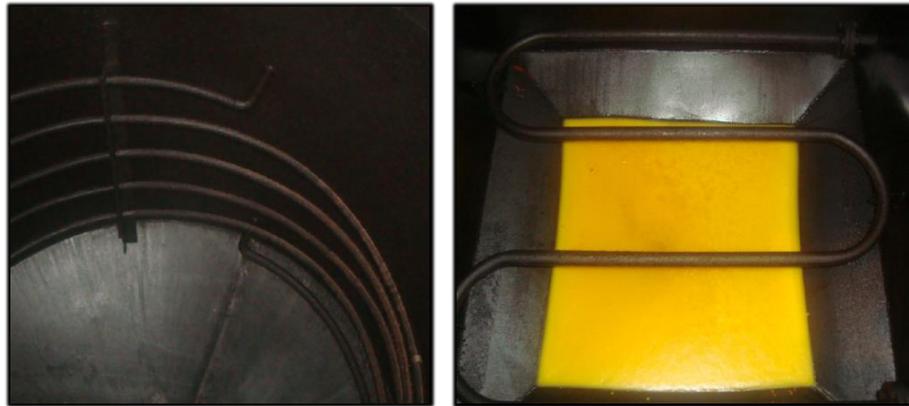
### **Prensa y extracción de aceite de palmiste:**

El sistema de prensa y extracción de aceite está constituido por 4 prensas cuyas capacidades siendo 3 prensas de aproximadamente  $2 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  y una prensa de mayor capacidad de  $4 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , todo el sistema de prensas es de tipo monotonillo sin fin, conformada por 3 secciones abiertas, la sección superior siendo de alimentación a la prensa, la sección frontal para extracción de la torta de palmiste y la sección inferior para extracción del aceite de palmiste.

### **Sistema de almacenamiento del aceite de palmiste.**

Para el sistema de almacenamiento se ha considerado todo el sistema de clarificación, es decir los sistemas intermedios en el proceso de refinación del aceite, de los cuales consta el tanque sedimentador, los filtros de aceite, y los tanques gemelos, los equipos antes mencionados, presentan un sistema de clarificadores o serpentines que operan como intercambiadores de calor, como se muestra a continuación en la figura 3.5 , lo cual permiten mantener

el aceite de palmiste a una temperatura de trabajo de 90°C, para su transportador debido a su alta viscosidad a temperatura ambiente.



Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica – Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

**FIGURA 3.5.-CLARIFICADORES – SERPENTINES  
FLUIDIZADOS CON VAPOR.**

#### **Sistema de producción de vapor – Caldero.**

La particularidad del sistema de producción de vapor, es el sistema de alimentación como se puede muestra en la figura 3.6, el cual consiste en una sección rectangular, que está conectado al sistema principal de transportación de cuesco seco y húmedo hacia el patio de almacenamiento, el cual mediante un sensor conectado al manómetro del caldero, cuando indique una menor presión de trabajo por debajo de 80 PSI el ducto de alimentación se abra y dejar caer directamente el centro del hogar de aproximadamente un

volumen de 36 m<sup>3</sup>, este sistema automático presenta su prevención para evitar la sobre alimentación de biomasa.



Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica – Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

### **FIGURA.3.6 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN SUPERIOR DE BIOMASA AL CALDERO.**

De igual manera, evaluando el modo de operación del caldero, como se establecerá más adelante, partiendo de un autoconsumo de 3 toneladas de biomasa al día, el hogar está constituido de una parrilla fija como se muestra en la figura 3.7, conformado por **galletas** de alto contenido de bajo contenido de carbono y de alta resistencia a choques térmicos, además de que la parrilla mantiene filtraciones para permitir que por gravedad se alojen las cenizas en la parte inferior del caldero, a pesar del alto contenido energético del cuesco se puede apreciar que no existe alto deterioro de la

parrilla, de acuerdo a información de planta, es debido a las cantidades necesarias de cuesco que consumen en base a la capacidad del dimensionamiento del hogar, además de los mantenimiento de limpieza diario y semanal, permiten que el material del caldero perdure.



Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica – Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

**FIGURA.3.7 ESQUEMA INTERNO DEL HOGAR DEL CALDERO A BIOMASA, PARRILLA CONFORMADA POR GALLETAS METÁLICAS.**

A pesar del bajo impacto que ha dado la combustión de la biomasa como se puede apreciar en la figura 3.8, las galletas son cambiables para evitar sobre uso de los componente de la parrilla por lo que en los mantenimientos semanales se revisan y cambian las piezas según la necesidad de planta, a pesar que el caldero no pasa de los 15 años de operación.

Finalmente por medio de un depurador de cenizas, de tipo ciclón, se recoge semanalmente un aproximado de 300 libras de cenizas, el sistema se conforma finalmente con una chimenea vertical, de aproximadamente 10 metros de altura y 1 metro de diámetro, incorporado un sistema de succión por medio de un soplador para incrementar la presión de salida de los gases, y así evitar acumulación de gases y cenizas en el hogar y ductos caliente dentro del domo del caldero.



Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica – Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

**FIGURA.3.8- SISTEMA DEPURADOR DE  
CENIZAS DE COMBUSTIÓN.**

Para el caso de la ceniza que se recoge en el caldero, la cual presenta una apariencia cristalizada como se puede ilustrar

gráficamente en la figura 3.9, indica que la ceniza residual se la ha mantenido dentro del hogar del caldero, por lo que debido al alto contenido energético de la biomasa la ceniza se sobre combustiona, permitiendo al cristalización de los minerales contenido, lo cual aumenta el impacto o deterioro de la cenizas en las paredes del caldero.



Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica – Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

**FIGURA 3.9 TIPO DE CENIZA CRISTALIZADA, OBTENIDA DEL HOGAR DEL CALDERO.**

### **3.2 Consumo de Combustible (Biomasa Residual) y de Agua para el Proceso.**

Para el presente trabajo se ha considerado, cuantificar los recursos e insumos directamente involucrados al proceso productivo.

Para lo cual a continuación se identificará, el consumo actual de agua para la producción de vapor para el proceso y el consumo de

agua para los hidrociclones, los dos únicos consumidores de agua en el proceso productivo, además de cuantificar el consumo actual de biomasa residual para el caldero.

### **Evaluación del consumo agua para el sistema de separación del cuesco y almendra – Hidrociclones.**

En base a las consideraciones de planta, se estableció que el consumo de agua que demandan los hidrociclones, lo fija la planta de tratamientos de aguas residuales, debido a que toda el agua residual de la planta proviene de los hidrociclones, siendo el principal consumidor de agua en proceso de producción.

De acuerdo a lo que establece la gerencia de planta, el consumo de agua por parte de los hidrociclones, al final de la jornada de trabajo es igual al volumen de almacenamiento de tres tanques reservorios de aguas residuales de la planta de tratamiento.

Cada tanque se compone de una sección superior de formar cubica rectangular, y una sección inferior de forma semejante a una pirámide con base cuadrangular, como se muestra en la figura 3.10. Por lo tanto para determinar el consumo de agua de los hidrociclones, se determina el volumen de un tanque reservorio de agua, y se considera los tres tanques de referencia como un consumo total aproximado.



**FIGURA 3.10 GEOMETRÍA DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL PROCESO.**

Seleccionado la sección superior de forma cubica rectangular, el volumen aproximado se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{Cub.Rect.}} &= \text{Area}_{\text{base}} * \text{Altura} = 3 * 2 * 1.76 \\ &= 10.56 \text{ m}^3//. \end{aligned}$$

Ahora seleccionando la sección inferior de forma a una pirámide con base rectangular se calcula de la siguiente manera.

Originalmente la sección inferior del tanque reservorio de agua, cuya geometría es semejante a un tronco de pirámide cuadrangular, estratégicamente se aproxima su geometría a una pirámide con base cuadrangular debido a que en la arista básica inferior se reduce a las dimensiones de una llave de paso de agua.

Por lo cual el volumen de la sección inferior es:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{pir.Cuad.}} &= \frac{1}{3} \text{Area}_{\text{base}} * \text{Altura} \\ &= \frac{1}{3} * 3 * 2 * 0.8 = 1.6 \text{ m}^3 // \end{aligned}$$

Por lo tanto el volumen de un tanque de almacenamiento de agua es:

$$\begin{aligned} \text{Volumen Tot. Tanq. Alm.} &= \text{Volumen}_{\text{sección sup.}} + \text{Volumen}_{\text{sección inf.}} \\ &= 10.56 \text{ m}^3 + 1.6 \text{ m}^3 = 12.16 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Resultando para los tres tanques de almacenamiento un volumen total de  $36.48 \text{ m}^3$  de agua aproximadamente.

Fiablemente bajo las consideraciones, para una jornada laboral de 24 horas al día, el consumo específico de agua de los hidrociclones se determina de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{específico}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] &= \frac{\text{Consumo total de agua}}{\text{Una jornada laboral}} = \frac{36.48 \text{ m}^3}{24 \frac{\text{horas}}{\text{día}}} \\ &= 1.52 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] // \end{aligned}$$

### **Evaluación del consumo de agua para el sistema de producción de vapor – Caldero.**

Para estimar el consumo de agua para el caladero se ha podido constatar que existen varios escenarios posibles, para los cuales,

se establecerán las condiciones operativa más apropiadas de acuerdo al nivel productivo de la empresa.

1er Caso: Considerando el tiempo de llenado de la bomba:

Para el presente caso se debe considerar, las siguientes condiciones de planta:

Se enciende 4 veces por cada hora;

Se midió de manera experimental, el caudal de la bomba a  $4,5 \frac{m^3}{h}$ .

El tiempo de bombeo hasta llegar al nivel máximo del domo del caldero es 2 minutos.

Por lo tanto:

Consumo de agua para el caldero es:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{específico}} \left[ \frac{m^3}{h} \right] &= 4,5 \left( \frac{m^3}{h} \right) * \frac{2 \text{ minutos}}{60 \text{ minutos}} (h) * \frac{4 \text{ veces}}{h} \\ &= 0,6 \left[ \frac{m^3}{h} \right] // \end{aligned}$$

2do. Caso: Considerando patrones de operación del caldero:

El tanque reservorio de agua previo al domo del caldero presenta la siguiente geometría:

Diámetro aproximado 2 metros.

Longitud aproximada 4 metros.

Por lo tanto el volumen es:

$$Volumen_{cilindro} = \pi \frac{d^2}{4} L = \pi * \frac{2^2}{4} * 4 = 12.6 [m^3] //.$$

Según consideraciones de planta, el tanque de aproximadamente 12.6 m<sup>3</sup> abastece totalmente para todo un día de trabajo de 24 horas.

Por lo cual:

$$\begin{aligned} Consumo_{especifico} \left[ \frac{m^3}{h} \right] &= \frac{Consumo\ total\ de\ agua}{Una\ jornada\ laboral} = \frac{12.6\ m^3}{24\ \frac{horas}{día}} \\ &= 0,53 \left[ \frac{m^3}{h} \right] // . \end{aligned}$$

3er Caso: Considerando patrones térmicos de operación del caldero:

De acuerdo a lo que se estableció en planta, la operación del caldero solo rige por el control de la presión del caldero en base a un manómetro, la cual registra la presión de operación del caldero en 80 Psi; el proceso usa vapor saturado, independientemente de la temperatura de trabajo la cual no se registra.

Por lo que para fines técnicos de establecerá coherentemente la temperatura de trabajo en base a los siguientes supuestos y con ello se procederá a calcular el consumo de agua del caldero:

1er. Supuesto: Se produce vapor saturado a 80 Psi con un 95% de calidad de vapor.

Consideraciones de operación:

X (%)= 95% de calidad de vapor.

Presión de trabajo: 80 Psi.

A partir de las condiciones de operación se procede a determinar las entalpías del agua de alimentación al caldero (feed water) y del vapor (steam water), para lo cual se tomará el resultado que muestran las tablas de vapor de la fuente indicada<sup>12</sup>.

El agua de alimentación al caldero, de acuerdo a las condiciones mínimas de operación se bombea a la presión del caldero de 80 Psi, a la Temperatura de 90°C.

Entalpia del líquido comprimido es:

$$h_f = 377,04 \left[ \frac{KJ}{Kg} \right];$$

Para determinar la entalpia del vapor con el 95% de calidad de vapor se calcula de la siguiente manera:

$$h = h_f + xh_{fg} = h_f + x(h_g - h_f); @ 80 Psi.$$

La entalpía del líquido comprimido se determinó anteriormente para lo cual, la entalpia del vapor a las condiciones de operación dadas, se identifican mediante las tablas de vapor o del diagrama de Mollier.

---

<sup>12</sup> Fuente: Libro de TERMODINAMICA.

$$h_g = 2752,5 \left[ \frac{KJ}{Kg} \right];$$

Por lo tanto la entalpia del vapor a las condiciones de operación establecidas:

$$\begin{aligned} h &= h_f + x(h_g - h_f) = 656,1 + 0,95*(2752,5 - 656,1); \\ &= 2647,68 \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] // . \end{aligned}$$

Una vez determinado las entalpias del agua de alimentación y de las condiciones térmicas del vapor, se procede a calcular la diferencia de entalpias a la cual el caldero produce vapor:

$$\Delta h_1 = h(x = 95\%) - h_f = 2647,68 - 377,04 = 2270,64 \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] // .$$

Finalmente para determinar el consumo de agua que demanda el caldero, se determina a partir del balance térmico entre la energía termoquímica proporcionada por la biomasa y la energía recibida al vapor de acuerdo a la eficiencia térmica del caldero, para lo cual se considerará una eficiencia del  $75\% \left( \frac{KJ_{Steam}}{KJ_{LHV}} \right)^{13}$ , es decir determinando el flujo másico del vapor, se determina el consumo específico de agua que demanda el caldero, considerando que la densidad del agua es de  $1 \text{ Ton/m}^3$ .

---

<sup>13</sup> A. Barriga, Catedra Sistemas de Conversión de Energía – ESPOL, 2014.

La ecuación del balance de energía para las condiciones de operación del caldero es:

$$\dot{m}_{biomasa} * \overline{PC}_{DB} * \eta(\%) * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = \dot{m}_{vapor} * \Delta h ;$$

Donde;

$\dot{m}_{biomasa}$  : Consumo de biomasa (Ton/día).

$\overline{PC}_{DB}$  : Poder calorífico en base seca (MJ/Ton).

$\eta(\%)$  : Eficiencia del caldero.

$\dot{m}_{vapor}$  : Flujo másico específico del vapor o Consumo específico de agua (m<sup>3</sup>/h).

$\Delta h$  : Diferencia de entalpias en la producción de vapor (MJ/Ton)

Por lo tanto el consumo específico de agua, se determina de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{vapor} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] &= \frac{\dot{m}_{biomasa} * \overline{PC}_{DB} * \eta(\%) * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}}{\Delta h} ; \\ &= \frac{3 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} * 14000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}} * 0,75 * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}}{2270,64 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}} ; \\ &= 0,58 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] // . \end{aligned}$$

2do. Supuesto: Se produce vapor saturado a 80 Psi considerando la temperatura máxima de saturación (100% de calidad de vapor).

De igual manera, de acuerdo al desarrollo anteriormente detallado se determina el consumo específico de agua que demanda el caldero bajo las condiciones térmicas establecidas.

Al considerarse 100% de calidad del vapor se considera la entalpia de vapor a la presión de operación del caldero y temperatura de saturación del agua, es decir  $h_g$ .

Por lo tanto la diferencia de entalpias se la calcula de la siguiente manera:

$$\Delta h_2 = h_g - h_f = 2752,5 - 377,04 = 2375,46 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right] //.$$

Finalmente bajo los mismos supuestos de operación anteriormente mencionados, se procede a calcular el consumo específico de agua para el caso considerado:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{vapor}} [\text{m}^3/\text{h}] &= \frac{\dot{m}_{\text{biomasa}} * \overline{\text{PC}}_{\text{DB}} * \eta(\%) * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ horas}}}{\Delta h}, \\ &= \frac{3 \frac{\text{Ton}}{\text{dia}} * 14000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}} * 0,75 * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ horas}}}{2375,46 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}}, \\ &= 0,56 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] // . \end{aligned}$$

Finalmente se puede establecer que el consumo actual de agua para la producción de vapor en el caldero, oscila entre  $0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ , dato

proporcionado por la planta, y  $0.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  considerando un caso crítico, a pesar que para los 2 casos posibles varían muy poco debido a que está en función de las condiciones térmicas del vapor, estableciendo un consumo entre  $0.56 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  y  $0.58 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ , por lo cual, en cálculos que se establecerán en la sección 4 del presente trabajo, se evaluará la condición óptima de operación, por lo que se establecerá mediante un análisis de sensibilidad el consumo de agua, de acuerdo a las condiciones operativas de la planta.

#### **Evaluación del consumo de biomasa residual para el sistema de producción de vapor – Caldero.**

Partiendo de las condiciones térmicas de la biomasa residual, estableciendo un contenido energético de aproximadamente  $14\,000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}$ , se considera de acuerdo a la información proporcionada por la planta, con el 75% de eficiencia del caldero, se procede a determinar el consumo de biomasa residual en función de los posibles casos de consumo de agua que demanda el caldero, con la finalidad de establecer las condiciones de consumo de biomasa apropiadas a las condiciones operativas de planta.

Por lo tanto para determinar el consumo de biomasa, se calcula de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{\text{biomasa}} \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right] = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}} * \Delta h}{\overline{PC}_{DB} * \eta(\%) * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}}$$

Se determina el consumo de biomasa residual, para las dos consideraciones térmicas de operación del caldero y producción de vapor, anteriormente mencionadas.

Cabe resaltar que se determinará el consumo de biomasa a partir del consumo de agua que demanda el caldero de acuerdo a lo que reporta la gerencia de planta lo cual es de aproximadamente  $0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ , considerando la densidad del agua de 1 Ton por cada metro cubico.

Para  $\Delta h_1$ ;

$$\dot{m}_{\text{biomasa}} \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right] = \frac{0,5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} * 2270,64 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{14000 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} * 75\% * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}} = 2,6 \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right] //.$$

Y para  $\Delta h_2$ ;

$$\dot{m}_{\text{biomasa}} \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right] = \frac{0,5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} * 2375,46 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{14000 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} * 75\% * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}} = 2,7 \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right] //.$$

Por lo tanto de acuerdo a las condiciones de consumo de agua anteriormente determinadas, se establece un consumo de biomasa residual entre  $2.6 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$  y  $2.7 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$ , a pesar que la planta, informa un consumo máximo de  $3 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$ .

### **3.3 Potencia y Energía Eléctrica Requerida para Operación por cada Componente de la Planta.**

Es necesario, una vez identificado el consumo de los recursos utilizados, como agua y combustible (biomasa), establecer la capacidad eléctrica instalada de la planta en general, por cada sección del proceso, identificando los principales consumidores potenciales, en términos energéticos.

Sin embargo, la demanda eléctrica por cada área del proceso, es prescindible para ello implementar medidores de consumo de energía eléctrica por cada sección o área del proceso, para poder evidenciar con propiedad los mayores consumidores eléctricos, debido a que la demanda eléctrica (KW-h o MW-h) no solo está en función de la capacidad eléctrica instalada, sino también del tiempo de permanencia de uso del equipo eléctrico.

Por lo cual a mediante la tabla se muestra el detalle de los consumidores eléctricos de la planta para la primera zona identificada, conformada por las áreas desde la recepción de nuez, limpieza de la nuez (desfibrador, tambor pulidor, despedregador), secado de nuez, palmisteria y secado de almendra, además de los equipos que conforman la transportación de cuesco y fibra al patio de almacenamiento.

**TABLA 5:**  
**DETALLE DE CAPACIDAD ELÉCTRICA INSTALADA POR ÁREA Y**  
**CONSUMIDORES DE PROCESO**

Área-Proceso	Equipos Eléctricos	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Potencia (KW)
Recepción Nuez	Transportador de tolva	3	2,2	3,7
	Elevador de nuez #1	2	1,5	
Desfibrador/ Pulidor/ Despedregador	Ventilador desfibrador	30	22,4	45,9
	Transportador al desfibrador	1	0,7	
	Tambor pulidor	7,5	5,6	
	Transportador de nuez al despedregador	1	0,7	
	Ventilador de ciclón de fibra	15	11,2	
	Esclusa de polvo #1	1	0,7	
	Transportador de fibra al patio #1	3	2,2	
Secador de nuez	Transportador de fibra al patio #2	3	2,2	41,8
	Ventilador de nuez	50	37,3	
	Esclusa de nuez	1	0,7	
	Motor de la parrilla	1	0,7	
	Transportador de nuez al elevador #2	1	0,7	
Palmisteria	Elevador de nuez #2	3	2,2	40,1
	Transportador al tambor clasificador de nuez	1,3	1,0	
	Motor reductor del tambor clasificador de nuez	1	0,7	
	Ripper mill #1	15	11,2	
	Ripper mill #2	15	11,2	
	Ripper mill #3	10	7,5	
	Esclusa de almendra rota #1	1	0,7	
	Esclusa de almendra rota #2	1	0,7	
	Esclusa de almendra rota #3	1	0,7	
	Mezcladora de almendra #1	1,5	1,1	
	Mezcladora de almendra #2	1,5	1,1	
	Transportador de almendra al tambor clasificador	1,5	1,1	
	Motor reductor del tambor clasificador de almendra	2	1,5	
	Transportador de almendra rota hacia el hidrociclones	1	0,7	
Transporte de cuesco al patio	Motor reductor banda transportadora de almendra	1	0,7	41,9
	Ventilador de polvo #1	15	11,2	
	Ventilador de polvo #2	15	11,2	
	Ventilador de polvo #3	15	11,2	
	Esclusa de polvo #2	1,5	1,1	
	Esclusa de polvo #3	1	0,7	
	Esclusa de polvo #4	1,5	1,1	
	Transportador de cáscara mojada	3,6	2,7	
Secador de almendra	Transportador de cascarilla al patio	3,6	2,7	66,0
	Elevador de almendra húmeda	1,5	1,1	
	Ventilador del silo de almendra húmeda	40	29,8	
	Transportador de almendra húmeda	1,5	1,1	
	Transportador de almendra húmeda al silo de seca	1	0,7	
	Motor de parrilla silo de húmeda	1	0,7	
	Elevador de almendra seca	1,5	1,1	
	Ventilador del silo de almendra seca	40	29,8	
Transportador de almendra seca	Transportador de almendra seca	1	0,7	66,0
	Transportador de almendra seca al bacheo	1	0,7	

Impulsor a prensa	Elevador de almendra seca bacheo	1,5	1,1	12,3
	Transportador neumatico a prensas	15	11,2	
Prensas	Transportador alimanetador de prensas	0,5	0,4	168,7
	Prensa #1	73,76	55,0	
	Prensa #2	50	37,3	
	Prensa #3	50	37,3	
	Prensa #4	50	37,3	
	Transportador de aceite a tanque recolector	1	0,7	
	Transportador de torta sin moler	1	0,7	
Filtrado y Refinacion de aceite.	Motor tamiz vibrador	0,5	0,4	3,4
	Bomba de aceite tanque recolector	1	0,7	
	Bomba de aceite tina hacia filtro niagara	1	0,7	
	Bomba de aceite filtro prensa	1	0,7	
	Bomba de aceite filtrado a gemelos	1	0,7	
Hidrociclon	Bomba de cascara hidrociclon nuevo	25	18,6	103,7
	Bomba de almendra hidrociclon nuevo	25	18,6	
	Rodillos escurridores hidrociclon nuevo	1	0,7	
	Bomba de cascara hidrociclon viejo	30	22,4	
	Bomba de almendra hidrociclon viejo	25	18,6	
	Rodillos escurridores hidrociclon viejo	1	0,7	
	Transportador de almendra mojada al elevador	3	2,2	
	Bomba de agua de la planta	15	11,2	
	Bomba de agua	1,5	1,1	
	Agitador de cal	0,5	0,4	
	Agitador tanque neutralizador	0,5	0,4	
	Bomba de agua hacia el tanque de floculacion	3	2,2	
	Bomba de agua hacia los filtros	2	1,5	
	Bomba de agua del hidroneumatico	1,5	1,1	
Bomba de agua de la poza	5	3,7		
Molino de torta	Elevador de torta sin moler	1,5	1,1	38,4
	Molino	50	37,3	
Tanque almacenamiento	Bomba de aceite almacenamiento	1	0,7	8,9
	Bomba de despacho	1	0,7	
	Compresor	10	7,5	
Caldero - Planta de abalndamiento de agua	Alimentador del caldero	1,74	1,3	39,0
	Tiro inducido de caldero	25	18,6	
	Esclusa de ceniza	1	0,7	
	Bomba alimentacion de caldero grande	15	11,2	
	Bomba alimentacion de caldero pequena	7,5	5,6	
	Ventilador primario del caldero	1	0,7	
	Ventilador de combustible	1	0,7	

Fuente: Frank Aroca R. – Visita Técnica – Planta extractora aceite de palmiste – Agosto 2014.

La información obtenida en la Tabla 2, fue levantada *in situ*, por cada área de la planta, desde la recepción de la nuez hasta el almacenamiento del producto de interés (aceite de palmiste), para lo cual se puede verificar, que de acuerdo a la información presente,

la planta establece un capacidad instalada de aproximadamente 614 KWe.

Siendo aproximadamente el 39% de la capacidad eléctrica instalada, representa la primera zona de la planta anteriormente detallada, y con el 61% la segunda zona de la planta, además se puede identificar que las áreas de mayor consumo como son la palmisteria, hidrociclones y los secadores de almendra representan el 44,4% de la capacidad eléctrica instalada, debido a su operación continua, cuyos equipos eléctricos de alta potencia, requeridos por la capacidad de proceso.

Detallada la máxima capacidad eléctrica que la planta podría demandar, sin embargo se conoce a primera instancia, que en base a la facturación actual, la demanda eléctrica de la planta es 354 KWe (Factura-Septiembre 2014 – ver tabla), lo que correspondería que el proceso productivo requiere aproximadamente el 57,7% de la capacidad eléctrica instalada.

Es importante considerar que la demanda eléctrica de acuerdo a la facturación de la planta de 354 KWe (*se ilustra en los anexos*), considera todos los tiempos de encendido y apagado de cada

consumidor eléctrico, e incluso considerando que los motores eléctricos no operan a su máxima potencia.

### **Secuencia de encendido y Consumo Eléctrico de la planta.**

De acuerdo a la información proporcionada por la planta, la secuencia de encendido del proceso, comienza activando el tambor pulidor, paralelamente el sistema de transportación de fibra y cuesco al patio de almacenamiento, y el sistema de succión de nuez al secador, para así garantizar que al momento de activar el transportador de nuez desde la recepción al proceso, se evite converja en el secador con impurezas, una vez en el proceso la materia prima, comienza el encendido de la segunda parte del proceso, empezando por la palmisteria, y el túnel de succión que separa la nuez y la almendra, para lo cual paralelamente se encienden los hidrociclones, y el sistema de transportación de la almendra a los secadores, hasta este momento la planta ha tomado alrededor de 5 minutos en el encendido parcial de la planta.

Es importante conocer que la planta no se encuentra en operación continua por lo que de acuerdo a estrategias de la gerencia de planta, establecen en ocasiones solo en encendido de las áreas hasta el secador de nuez debido a que se requiere usar el secador como silo de almacenamiento, de igual manera, se utilizan los

secadores de almendra, para cuando se requiere postergar el proceso de prensa y extracción de aceite de palmiste, por estrategias de producción.

Por lo que bajo una producción continua, la última parte del encendido general de planta es la el área de prensa y extracción de aceite de palmiste, y los sistema de molino y ensacado de torta y lodos residuales del proceso de prensa, continuo al proceso, los sistemas e bombeo de paso y refinación del aceite hasta los tanques para su posterior despacho. Por lo tanto en un promedio de 10 minutos, se estima el encendido total de la planta, y debido a la disponibilidad eléctrica para los motores, no requiere estrategias de encendido para amortiguar la demanda eléctrica en un instante dado.

Finalmente de acuerdo a la información demostrable mediante la factura mensual, la planta con una capacidad de procesamiento de  $3.6 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  de nuez de palma africana, resulta que la planta en ***promedio mensual*** del último año en curso entre los meses Octubre 2013 y Septiembre 2014, se puede mostrar en la tabla 3, presenta una demanda eléctrica de 354 KWe y un consumo equivalente de electricidad de aproximadamente 79 MW-h por mes.

**TABLA 6**  
**CONSUMO Y DEMANDA DE ELECTRICIDAD EN EL AÑO 2013-**  
**2014.**

Año	MES	Consumo (MW-h) de Electricidad	Demanda (KWe) de Electricidad
		De Acuerdo a la Factura:	De Acuerdo a la Factura:
2013	Octubre	60	352
2013	Noviembre	78	352
2013	Diciembre	81	354
2014	Enero	103	354
2014	Febrero	79	354
2014	Marzo	79	354
2014	Abril	81	354
2014	Mayo	105	354
2014	Junio	61	354
2014	Julio	81	354
2014	Agosto	57	354
2014	Septiembre	49	354
<b>Media:</b>		<b>79</b>	<b>354</b>

Por lo que la planta de acuerdo a las características operativas de planta presenta un consumo anual de aproximadamente  $914 \frac{\text{MW-h}}{\text{año}}$ , lo que correspondería a una demanda eléctrica equivalente aproximada de 104 KWe, es decir considerando que la planta esté funcionando las 8760 horas de año continuamente, eso significaría que la planta requeriría solamente el 29.3% de la demanda eléctrica facturable, o el 16.95% de la capacidad eléctrica instalada en la planta, lo cual para las dos aseveraciones consideradas, se las

expresa con el objetivo de establecer diferencias y oportunidades de mejor temas de desempeño y gestión energética en la planta.

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE.

Para la presente sección se identificará y se demostrará en base a principios técnicos el consumo de energía y masa que requiere el proceso productivo de la planta.

### 4.1 Balance Energético Global del Proceso (masa y energía eléctrica).

De acuerdo a la información que reporta la gerencia de planta, el consumo de agua para el proceso es de aproximadamente  $2.1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ , y de biomasa residual para autoconsumo, para la producción de vapor es de aproximadamente  $3 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$ ; por lo que a continuación se detallará el balance de masa y energía, con la finalidad de

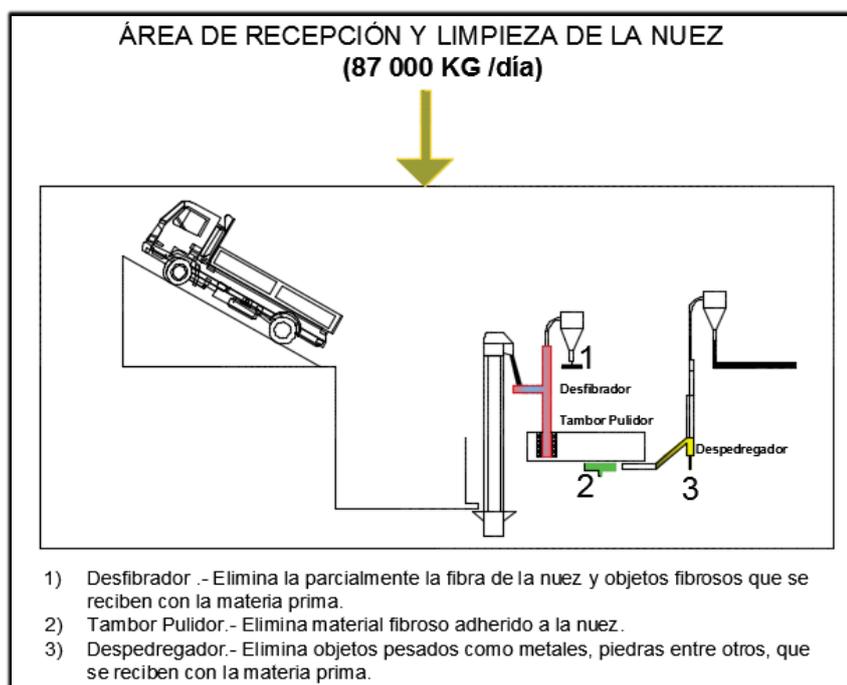
establecer el potencial energético de la biomasa residual, y condiciones necesarias de vapor para el proceso productivo.

A primera instancia se desarrollará el balance de masa, en términos del nivel de procesamiento de la planta, es decir de acuerdo al tonelaje de nuez de palma africana procesada, se evaluará y cuantificará, sus derivados, como se mostrará a continuación.

**Balance de Masa del proceso productivo en términos del procesamiento de la nuez y la cuantificación del producto de interés, sub productos y residuos del proceso.**

El proceso productivo como se lo detallo anteriormente, comienza en la recepción de la materia prima (nuez de palma africana), por lo cual para una capacidad de planta de 3.6 Toneladas por hora, se evaluó el flujo de materia prima, producto en proceso y sus derivados hasta la obtención del producto de interés como es el aceite de palmiste.

De acuerdo a las condiciones actuales de la planta se reciben 87 Toneladas de nuez como se muestra en la figura 4.1, para ingresar en la primera área del proceso, el cual consiste en la limpieza de la nuez.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

#### **FIGURA 4.1 RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA.**

Del proceso de limpieza, se extraen aproximadamente 600 Kg/día de impurezas y objetos fibrosos, tales como piedras, objetos metálicos, entre otros, así como se puede apreciar en la figura 4.2, los mismos que se depuran a través del desfibrador, tambor pulidor y el despedregador, cabe resaltar que aproximadamente el 40%, representa material fibroso que vienen en la recepción de la nuez, y son dirigidos directamente a la banda transportadora del cuesco seco para su posterior almacenamiento en el patio.



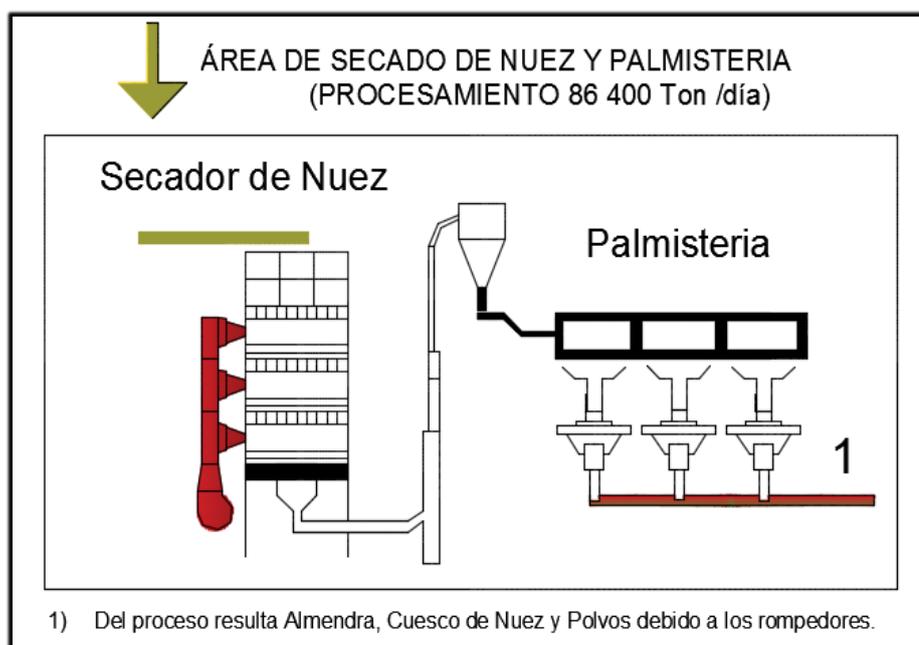
Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 4.2- IMPUREZAS EXTRAÍDAS DEL PROCESO DE LIMPIEZA DE LA NUEZ.**

De acuerdo a lo que se registra en la ficha de producción (*para lo cual se lo puede visualizar en el anexos*), en la tolva del secador de nuez se registra en tonelaje que ingresa al proceso productivo, para lo cual una vez extraída las impurezas, se registra el procesamiento de 86 400 Kilogramos de nuez para una jornada laboral de 24 horas al día.

Por lo tanto de acuerdo como se muestra en la figura 4.3, el procesamiento de aproximadamente 86,4 Toneladas de nuez por día de producción, que entran al secado donde se extrae aproximadamente el 3% de la humedad de la nuez con que se

recibe, es decir entra al proceso de rompimiento con aproximadamente el 12% de humedad.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

### FIGURA 4.3 PROCESO DE ROMPIMIENTO DE LA NUEZ

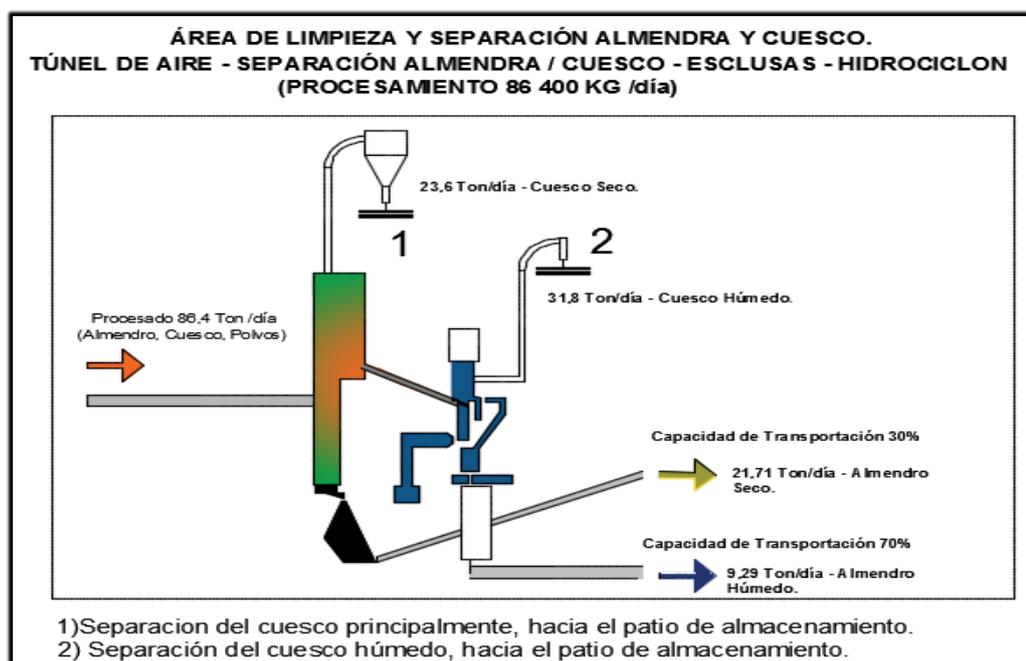
En proceso de secado, mediante la inducción directa con la nuez, de un flujo de aire precalentado a través de unos radiadores con vapor, se extrae la humedad parcial, para que el cuesco de la nuez se parta por fragilidad y se separe físicamente de la almendra para su posterior rompimiento en la zona de palmisteria.

Las 86.4 Toneladas de nuez se procesan, en la palmisteria, lo que por conservación de masa, al final del proceso resulta 86.4

Toneladas aproximadamente entre almendra, cuesco y polvos debido a los rompedores.

Una vez procesadas las 86.4 Toneladas, ingresan a un túnel de succión, el cual separa el cuesco seco de la almendra, cabe resaltar que en el flujo de cuesco seco se comparte con almendras con cuesco pegadas, y almendras de menor tamaño que son arrastradas por el túnel de succión vertical. Por gravedad caen las almendras separadas, para su transportación hacia los secadores.

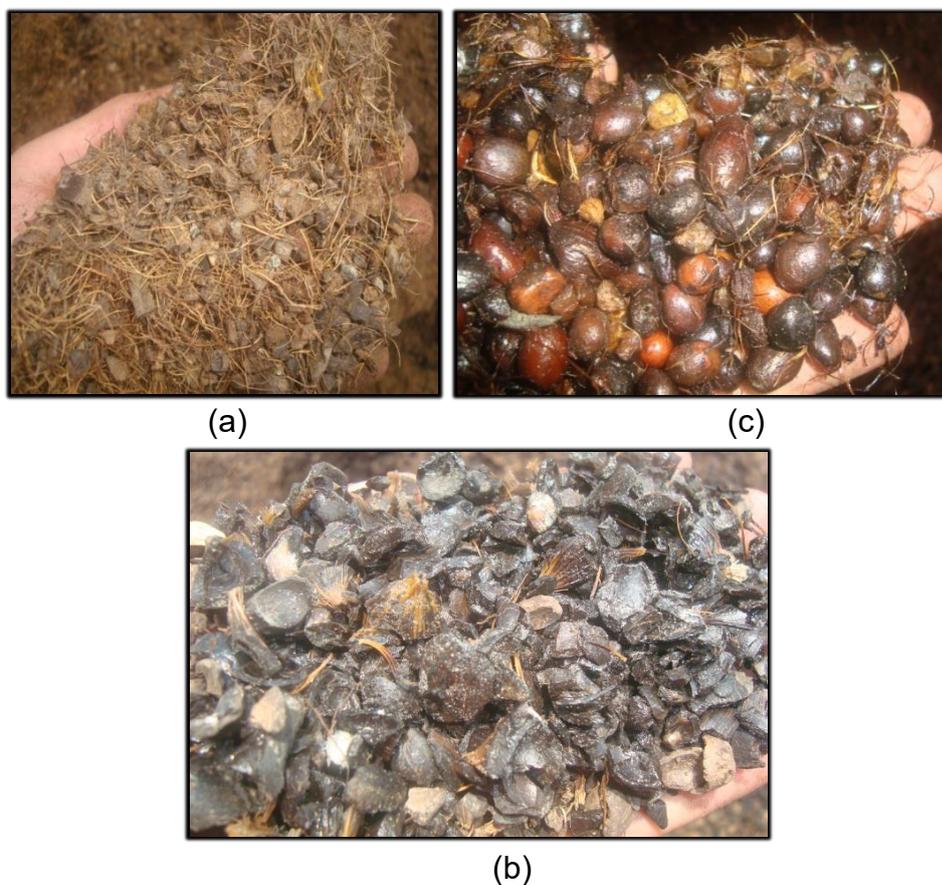
Con la finalidad de separar el cuesco, y las almendras arrastradas por el flujo de aire ascendente, la función de las esclusas es aprovechar un vórtice que gracias a dos dampers se crea para por densidad separar las almendras contenidas en el flujo de cuesco seco, como se puede mostrar en la figura 4.4, este flujo de almendras y cuescos separados, por medio de la esclusas se transportan hacia los hidrociclones, para su posterior separación.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

#### **FIGURA. 4.4 SEPARACIÓN DEL CUESCO SECO Y APROVECHAMIENTO DE LA ALMENDRA POR HIDROCICLONES.**

De las 86.4 toneladas de nuez procesadas, se obtuvo 23.6 Toneladas de cuesco seco (Figura 4.5a), mientras que del 72.68% correspondiente a la masa restante, a través de los hidrociclones se separan el cuesco residual y la nuez, obteniendo así 31.8 Toneladas de cuesco húmedo (Figura 5.4b) para su posterior transportación hacia el patio de almacenamiento, resultando del proceso finalmente 31 Toneladas de almendra aproximadamente, la cual el 70% es almendra húmeda, y el 30% siendo almendra seca (ver Figura 4.5 c).



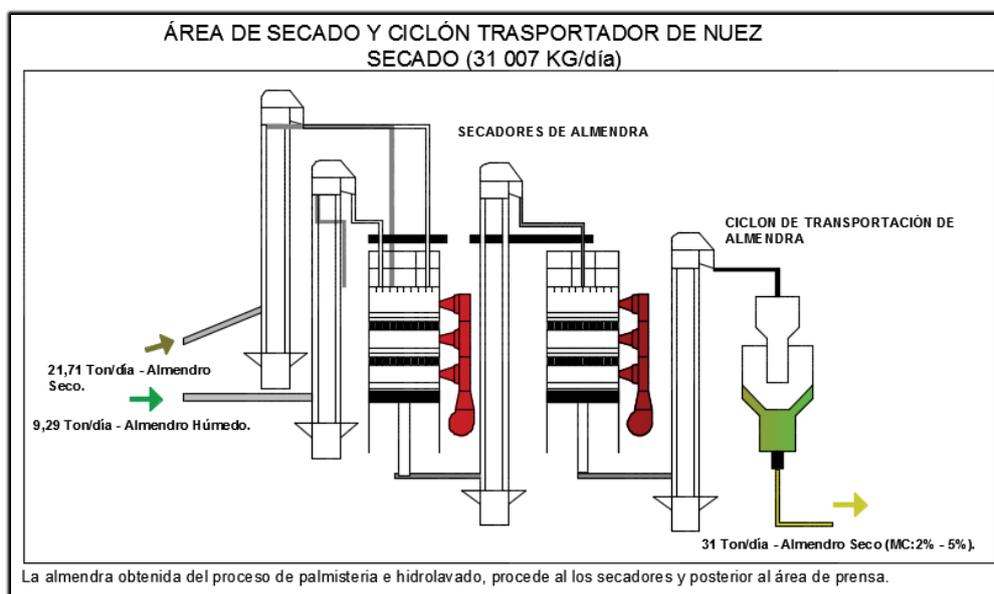
Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 4.5 CUESCO SECO Y POLVOS DE PALMISTE (A), CUESCO HÚMEDO (B) Y ALMENDRA HÚMEDA(C).**

Bajo la consideración técnica de planta, el sistema de transportación de la almendra hacia los secadores, establece que el 70% de la capacidad de transportación de almendra (21705 Kg/día) se abastece del túnel de succión de aire, donde se recibe la almendra seca, y el 30% de la capacidad de transportación de la

almendra proviene de la almendra húmeda (9302 Kg/día) de los hidrociclones, ambos flujos suman las 31 Toneladas de almendra obtenidos del proceso de palmistería.

Como parte del proceso de secado anteriormente mencionado, de igual manera, se conserva la masa del proceso, pero en este caso se procede al secado de las 31007 Toneladas de almendra, extrayéndole aproximadamente el 10% de humedad, hasta establecer del 2% al 5% de humedad de la almendra para el posterior proceso de prensa y extracción de aceite, como se lo puede expresar en la figura 4.6 a continuación.

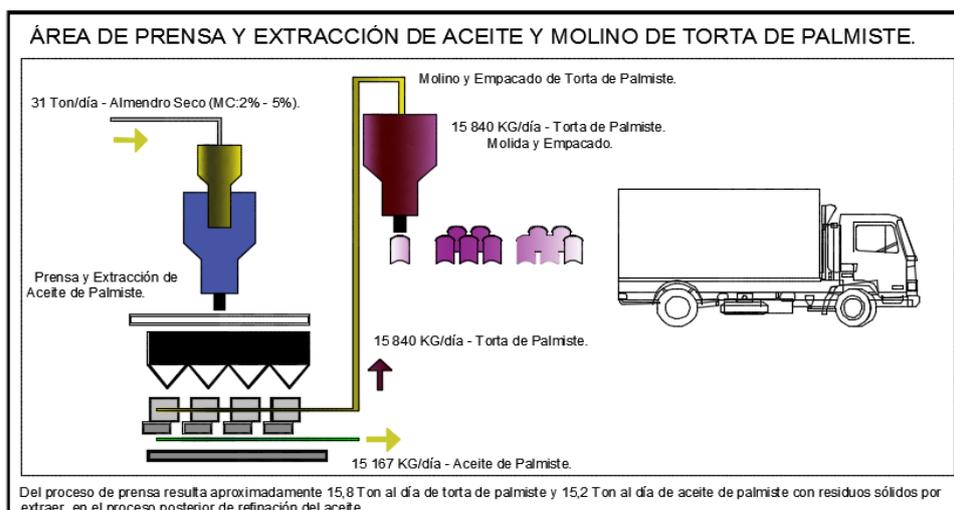


Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 4.6 PROCESO DE SECADO Y TRANSPORTACIÓN DE ALMENDRA.**

La parte del proceso productivo más crítico es el área de prensa y extracción de aceite, debido a la complejidad y seguimiento del flujo másico de la almendra a procesar.

Se cuantifica de acuerdo a la ficha de producción, las 31 Toneladas de almendra a procesar, para lo cual resulta, el primer subproducto con fin alimenticio, la torta de palmiste se obtiene de la pasta residual del proceso de prensa, este subproducto es empacado para su fin comercial, de acuerdo a la ficha de producción se registra para una jornada laboral de 24 horas, 15 840 Kilogramos de torta de palmiste, que representa un 51.1% del producto procesado(almendra), para lo cual se expresa en la figura 4.7 el balance de masa para el área de extracción y molino de torta de palmiste, además de que podrá ilustrarse en la figura 4.8, gráficamente la diferencia entre la torta de palmiste molida y sin moler, lo varía de acuerdo a las exigencias del cliente que requiere el subproducto.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

### **FIGURA 4.7 PROCESO DE PRENSA Y EXTRACCIÓN DE ACEITE Y EMPACADO TORTA DE PALMISTE.**

Para lo cual, de acuerdo a la información obtenida, la producción de torta de palmiste equivale al 18.34% del procesamiento total de la nuez.



(a)



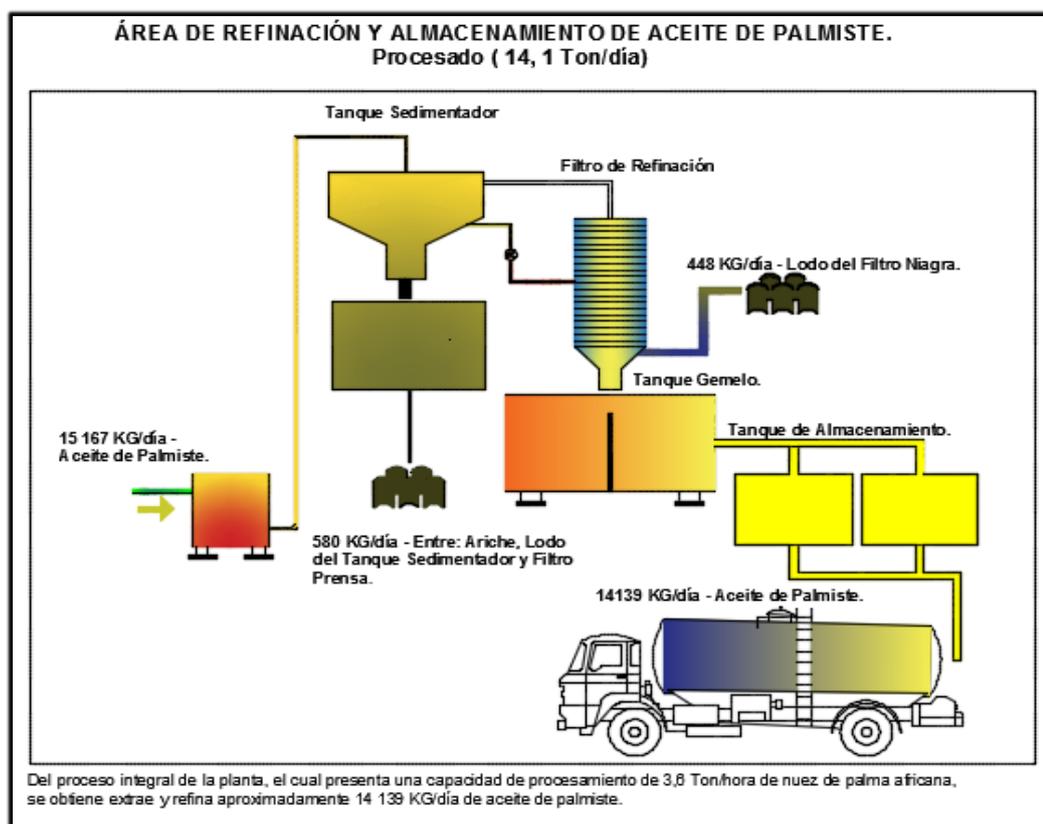
(b)

Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

### **FIGURA 4.8 TORTA DE PALMISTE SIN MOLER (A) Y TORTA DE PALMISTE MOLIDA (B).**

Además de la torta de palmiste, como subproductos se obtienen el residuo del tanque sedimentador, el arciche el material sólido que se recoge al final del proceso productivo, y es el primer subproducto que se obtiene del proceso de refinación del aceite extraído de la almendra, para lo cual como se muestra en la figura 4.9, se representa gráficamente el balance de masa para el sistema de refinación del aceite, en base a los sub productos obtenidos.

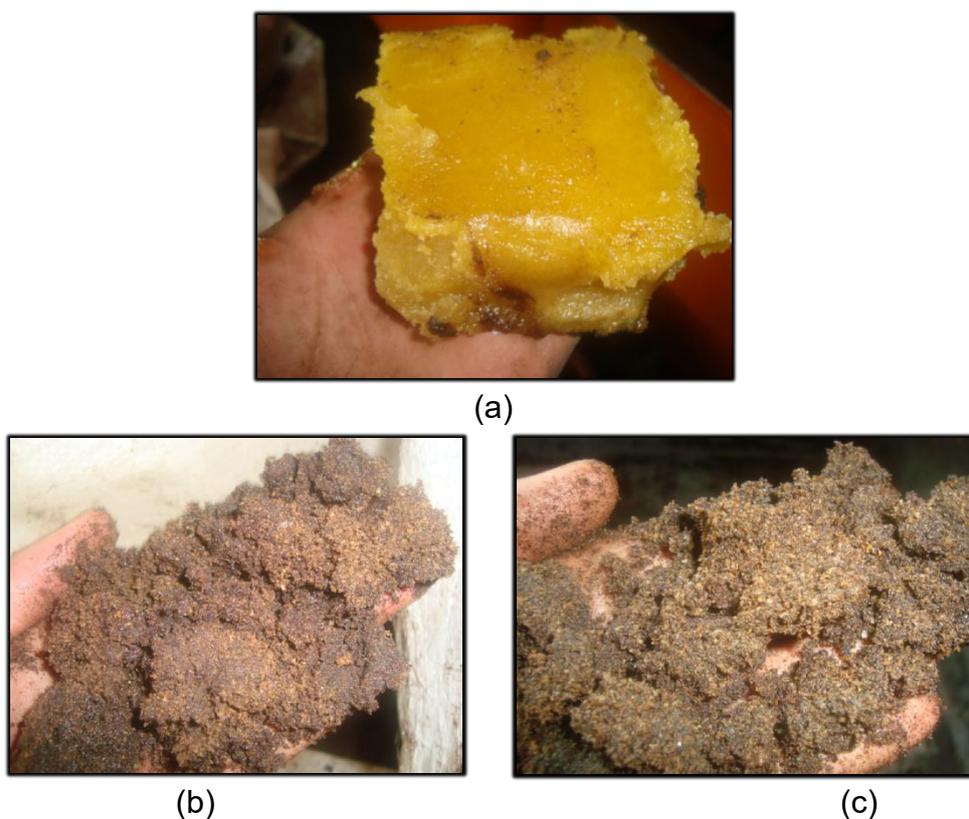
Cabe resaltar que la cuantificación de los lodos que se reciben del filtro niagra, filtro prensa, y los clarificadores, son obtenidos al final de la semana de trabajo donde la planta entra en limpieza, por lo cual, de acuerdo al pesaje en campo, establecido para los días laborables de la semana; se obtiene aproximadamente 1030 Kilogramos entre arciche, lodos de los filtros y clarificadores así como se muestra en la Figura 4.10 una ilustración del tipo subproductos obtenido en el proceso.



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

### FIGURA 4.9 PROCESO DE REFINACIÓN DEL ACEITE

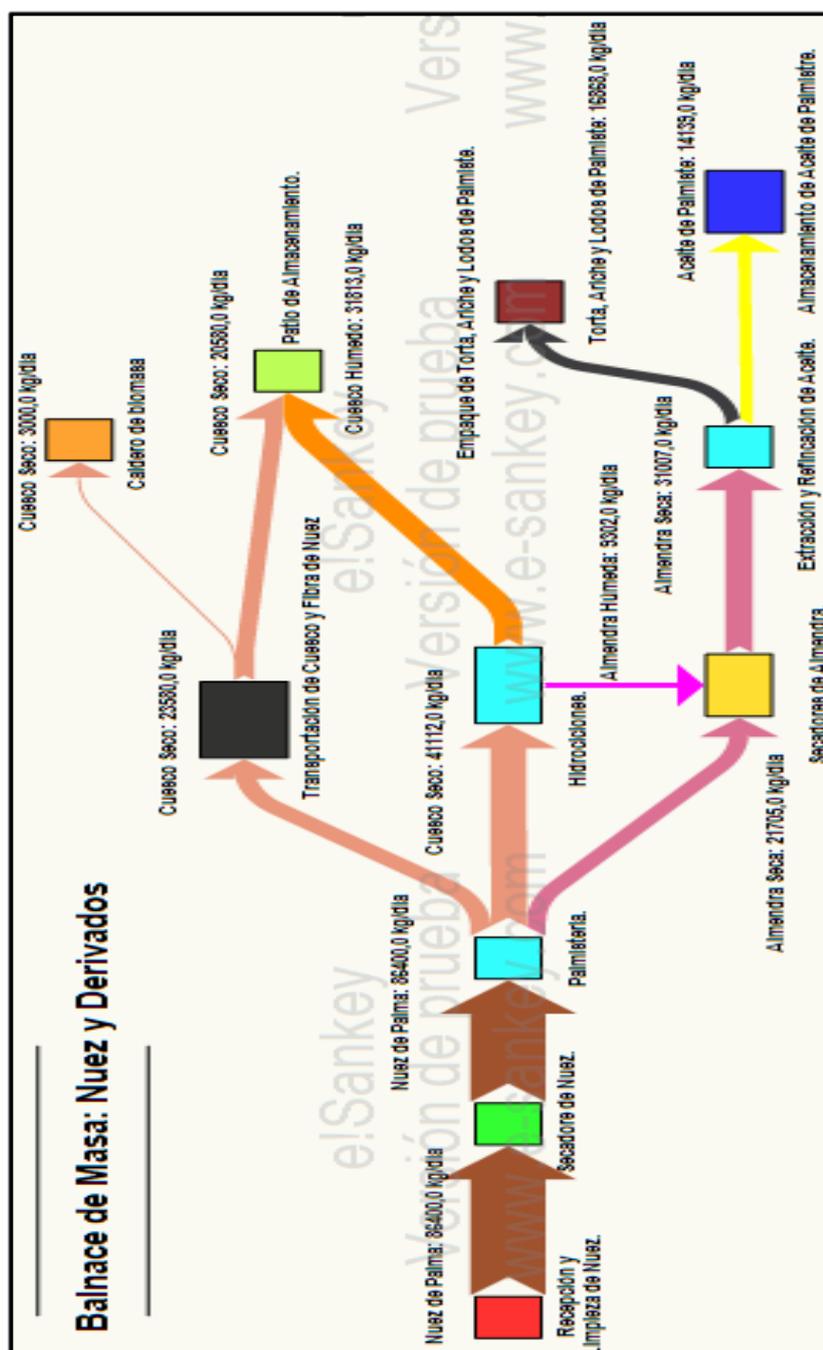
Finalmente mediante la información que proporciona la planta de acuerdo a la ficha de producción la cual se puede ilustra en los anexos, establece que para el procesamiento de 86.4 Toneladas de nuez, produce aproximadamente 14.14 Toneladas de aceite de palmiste, lo que representa un 16.4% de la capacidad de producción de la planta aproximada de 3.6 Toneladas por hora, además en base al balance de masa se puede denotar que



Fuente: Aroca Ramos F. - Visita técnica a la planta extractora de aceite de palmiste. Abril 2014.

**FIGURA 4.10 SUB PRODUCTOS OBTENIDOS DEL FILTRO PRENSA, Y TANQUE SEDIMENTADOR, COMO RESIDUOS DE ACEITE (A), ARICHE (B) Y LODOS DEL FILTRO PRENSA (C).**

Para una mejor apreciación de los productos principales y subproductos obtenidos, a continuación se ilustra mediante Figura 4.11 el balance de masa de acuerdo a la recepción de materia prima y sus derivados.



Fuente: e!Sankey–Software libre. Tomado del link: <http://www.sankey-diagrams.com/sankey-diagram-software/>.

**FIGURA 4.11 BALANCE DE MASA – NUEZ DE PALMA AFRICANA Y SUS DERIVADOS**

Como medida referencial de acuerdo al nivel de procesamiento de la nuez, teóricamente la cantidad de aceite de palmiste extraído, representa entre el 15% - 16%, mientras que la torta de palmiste conlleva el 17% -18%, y el 50% de la nuez procesada representa el cuesco de la nuez obtenido<sup>14</sup>.

### **Identificación de la demanda de energía Térmica y Termoquímica para el proceso productivo.**

Con la finalidad de establecer técnicamente un balance de masa (agua y biomasa) y energía (térmica, termoquímica, electricidad), es necesario no solo partir de las condiciones operativas de la planta, sino también corroborarlas, para definir el comportamiento más apropiado para la planta, esto implica demostrar que los datos y condiciones establecidas sean fiables y demostrables.

Para tal fin, se podrá evidenciar en la sección 4.2, del presente trabajo, el desarrollo técnico, para determinar la relación aire - combustible ( $r \frac{\text{aire}}{\text{biomasa}}$ ), y el exceso de aire (EA), para las condiciones de operación del presente caso. Por lo tanto, una vez obtenido los factores termoquímicos en la combustión de la

---

<sup>14</sup> Gerentes de Plantas - Visita a extractoras de aceite de palmiste. Junio 2014.

biomasa, a continuación se calculará la tasa térmica residual de los gases de combustión, cabe resaltar que la ecuación se la expresará en términos de la temperatura de salida de los gases de combustión, es necesario tener en consideración que el calor específico de los gases de combustión, se puede aproximar al calor específico del aire, debido a las condiciones en su composición (1.2  $\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$ ).

$$\begin{aligned} \dot{E}_{GasesComb.} \left[ \frac{KJ}{S} \right] &= \dot{m}_{GasesComb.} \left( \frac{KG}{S} \right) * C_{pAire} \left( \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \right) * \\ &\Delta T(^{\circ}C)_{GasesCaomb.} \text{ EC.1} \\ &= \dot{m}_{GasesComb.} * C_{pAire} (T(^{\circ}C)_{final} - 27^{\circ}C); \end{aligned}$$

Sin embargo para determinar el flujo másico de los gases, se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{GasesComb.} \left( \frac{KG}{S} \right) &= \dot{m}_{biomasa} \left( \frac{KG}{S} \right) * r \frac{aire}{biomasa} * (1 + EA); \\ &= 3000 \frac{KG}{día} * \frac{1día.1h}{24h.3600s} * 12.2 * (1 + 1); \\ &= 0.8472 \left( \frac{KG}{S} \right) // \end{aligned}$$

Reemplazando en la **ec.1**, el valor del flujo másico de gases de combustión;

$$\begin{aligned}\dot{E}_{GasesComb.} \left[ \frac{KJ}{S} \right] &= 0.8472 \left( \frac{KG}{S} \right) * 1.2 \left( \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \right) * (T(^{\circ}C)_{final} - 27^{\circ}C); \\ &= \mathbf{1.017} * (T(^{\circ}C)_{final} - 27^{\circ}C) //.\end{aligned}$$

Finalmente se ingresa la ecuación en una hoja de cálculo para, estimar técnicamente la temperatura final de los gases de combustión, en base a la eficiencia del caldero, y lo más importante el flujo másico del vapor de agua, que produce el caldero.

### **Análisis de sensibilidad para determinar la eficiencia del caldero.**

En el desarrollo del presente trabajo, se ha podido constatar, que en bases a principios o modalidades de operación de la planta, solo miden ciertas condiciones térmicas en el proceso, como por ejemplo temperaturas y presiones del vapor en puntos específicos, entre otros, a pesar de la exigua información, para poder establecer concordancia y coherencia en el balance de masa y energía, esto implica determinar condiciones térmicas de operación, de manera directa, o por inferencia indirecta, en base a las condiciones de planta conocidas.

Una de las más importantes condiciones de planta, es la eficiencia del caldero, debido a que está regido prácticamente para todo el balance energético del proceso, el cual influye directamente en el consumo de agua para la producción de vapor, además de establecer la tasa térmica para el proceso, por lo cual indirectamente se determina la tasa térmica del vapor exhausto, y por ende el flujo másico del mismo, como también el flujo de másico del agua de reposición al caldero, entre otras condiciones.

Una de las condiciones térmicas, que están ligadas indirectamente al caldero, es la tasa térmica que resulta en los gases post combustión, para lo cual, se tuvo que determinar por inferencia indirecta. Mediante una análisis de sensibilidad, se tomó en consideración como variable del proceso la eficiencia del caldero, y la temperatura de los gases de combustión con el objetivo de determinar el flujo másico del vapor, permite establecer el balance de energía, en el caldero a partir de la energía termoquímica que proporciona el combustible, es decir, mediante la tabla 7 muestra el análisis de sensibilidad que se estableció, en base a los diversos casos que las variables del proceso anteriormente identificadas pueden tomar un valor correspondiente, de acuerdo a las condiciones operativas del proceso.

El objetivo principal es de determinar el flujo másico del vapor de agua, en términos de la eficiencia del caldero, el cual se asume que puede tomar varios casos en función de la temperatura de salida de los gases, conociendo de antemano que la producción de vapor es a 80 PSI, con una calidad de vapor aproximada del 95%, para lo cual la entalpía del vapor es conocida.

**TABLA 7**  
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA DETERMINAR EL FLUJO**  
**MÁSICO DE VAPOR DE AGUA.**

Eff.	Energía Biomasa (KJ/S)	Energía Rad./Cenizas (KJ/S)	Energía Feed Water (KJ/S)	Energía Vapor (KJ/S)	Flujo Másico Vapor (TON/H)	Energía Gases (KJ/S)
50%	486,11	13,01	40,36	243,06	0,39	270,40
55%	486,11	13,01	44,40	267,36	0,42	250,13
60%	486,11	13,01	48,43	291,67	0,46	229,87
65%	486,11	13,01	52,47	315,97	0,50	209,60
<b>70%</b>	<b>486,11</b>	<b>13,01</b>	56,50	340,28	<b>0,54</b>	189,33
<b>75%</b>	<b>486,11</b>	<b>13,01</b>	60,54	364,58	<b>0,58</b>	169,06
80%	486,11	13,01	64,57	388,89	<b>0,62</b>	148,79
85%	486,11	13,01	68,61	413,19	<b>0,66</b>	128,52
90%	486,11	13,01	72,65	437,50	<b>0,69</b>	108,25

Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

Como se muestra en la tabla 7, se procedió a dar todos los posibles valores en que la eficiencia del caldero pueda tomar un valor de acuerdo a las condiciones de operación de la planta, para

determinar la temperatura de salida de los gases de combustión, los cual en planta no se mide.

De acuerdo a las fuentes de referencia<sup>15</sup> consultadas, se estima que aproximadamente el 2% de la energía de entrada al sistema, es decir la tasa de energética de la biomasa, es igual a la energía que se pierde a través de la radiación térmica por la conductividad del material del equipo físico.

Por lo tanto, estableciendo los valores para la eficiencia del caldero, se determina la energía atribuida al vapor de agua, conociendo como dato de proceso la entalpia del vapor, además se determina el consumo de agua que demanda el caldero en la producción de vapor, a partir de la energía termoquímica de la biomasa, menos la energía referente a las pérdidas por radiación y la energía acarreada en la producción de vapor de agua, se determina la energía residual en los gases de combustión, que de acuerdo a la tabla 7, para una eficiencia del caldero entre el 60% y 80%, presenta un consumo de agua de aproximadamente  $046 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  a  $062 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , estableciéndose así una temperatura final de los gases de combustión mayor a 200 °C.

---

<sup>15</sup> Link: <http://www.tlv.com/global/LA/calculator/condensate-load-radiant-heat-loss.html>

Sin embargo el análisis realizado, presenta un supuesto, que se considera conllevaría a un error en el balance de masa y energía, el cual es asumir que directamente la eficiencia del caldero, además, que la energía del vapor no presenta un comportamiento de acuerdo a las condiciones reales de operación es decir, no se encuentra expresado en términos de la energía que presta el agua de alimentación al caldero, a pesar que lo que se puede obtener es que de antemano se presenta un estimativo en el consumo de agua del caldero de acuerdo a lo que se pudo determinar en el sección 3.2 del presente trabajo; por lo cual el flujo másico del agua se lo expresa en el análisis en términos de presuntamente la eficiencia del caldero, además que la tasa de energía del vapor está regida a la tasa de energía de los gases de combustión, condiciones que en planta no la miden por lo que se considera conlleve a una alteración en los datos obtenidos.

### **Análisis de sensibilidad para determinar la eficiencia del caldero en términos del consumo de agua.**

En la sección 3.2 del presente trabajo, se pudo determinar 2 posibles casos del flujo másico de agua que demanda el caldero, un tercer caso es la condición que la gerencia de la planta proporciona,

por lo tanto la metodología que podrá mostrarse en la tabla 8, cuyo fin es determinar la eficiencia del caldero en términos del consumo de agua que demanda el mismo, pero también está sujeta a la variación de la tasa de energía de los gases de combustión, debido a que a pesar que no se mide la temperatura de salida, presenta varios casos, para los cuales las condiciones de planta se adaptaría.

Por lo tanto la estrategia del presente análisis de sensibilidad a mostrar, es establecer una interpolación por inferencia indirecta, que permita determinar la tasa de energía del agua de alimentación en base a un consumo de agua estimado, para calcular la energía del vapor, en términos de la energía de los gases de combustión, el cual se determina en base a la temperatura de salida de los gases de combustión para cada caso posibles, el cual se lo ilustra en la tabla 8, para así determinar la energía del vapor producido, el mismo que mediante la entalpia conocida (80PSI @ x:95%), se determina el flujo másico calculado, donde deberá ser igual o próximo al flujo másico de agua estimado, cabe resaltar que se designará las condiciones que determine el menor error relativo entre el consumo de agua estimado y el consumo de agua calculado.

Finalmente conociendo la tasa energética de la biomasa, y la tasa energética del vapor en términos del consumo de agua calculado, se determina la eficiencia del caldero.

**TABLA 8**  
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL CALDERO EN FUNCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA Y LA TEMPERATURA DE SALID DE LOS GASES.**

Tf. Gases (°C)	F. Másico Vapor Estimado (Ton/h)	F. Másico Vapor Calculado (Ton/h)	Error Absoluto (%)	Energía Biomasa (KJ/S)	Perdidas Radiación Cenizas (KJ/S)	Energía Gases (KJ/S)	Energía Feed Water (KJ/S)	Energía Vapor (KJ/S)	Eff. Caldero (%)
120	0,5	0,61	-21,3%	486,11	13,01	79,577	52,367	445,889	81,0%
120	0,56	0,61	-9,8%	486,11	13,01	79,577	58,651	452,173	81,0%
120	0,58	0,62	-6,5%	486,11	13,01	79,577	60,745	454,268	81,0%
130	0,5	0,59	-18,9%	486,11	13,01	88,134	52,367	437,332	79,2%
130	0,56	0,60	-7,7%	486,11	13,01	88,134	58,651	443,616	79,2%
130	0,58	0,61	-4,5%	486,11	13,01	88,134	60,745	445,711	79,2%
140	0,5	0,58	-16,6%	486,11	13,01	96,691	52,367	428,776	77,4%
140	0,56	0,59	-5,6%	486,11	13,01	96,691	58,651	435,060	77,4%
140	0,58	0,59	-2,5%	486,11	13,01	96,691	60,745	437,154	77,4%
150	0,5	0,57	-14,3%	486,11	13,01	105,248	52,367	420,219	75,7%
150	0,56	0,58	-3,6%	486,11	13,01	105,248	58,651	426,503	75,7%
<b>150</b>	<b>0,580</b>	<b>0,583</b>	<b>-0,48%</b>	<b>486,11</b>	<b>13,01</b>	<b>105,248</b>	<b>60,745</b>	<b>428,598</b>	<b>75,7%</b>
<b>153</b>	<b>0,580</b>	<b>0,579</b>	<b>0,13%</b>	<b>486,11</b>	<b>13,01</b>	<b>107,815</b>	<b>60,745</b>	<b>426,031</b>	<b>75,1%</b>
155	0,5	0,57	-13,1%	486,11	13,01	109,526	52,367	415,941	74,8%
155	0,56	0,57	-2,5%	486,11	13,01	109,526	58,651	422,225	74,8%
<b>155</b>	<b>0,58</b>	<b>0,58</b>	<b>0,5%</b>	<b>486,11</b>	<b>13,01</b>	<b>109,526</b>	<b>60,745</b>	<b>424,319</b>	<b>74,8%</b>
160	0,5	0,56	-11,9%	486,11	13,01	113,804	52,367	411,662	73,9%
160	0,56	0,57	-1,5%	486,11	13,01	113,804	58,651	417,946	73,9%
160	0,58	0,57	1,5%	486,11	13,01	113,804	60,745	420,041	73,9%
170	0,5	0,55	-9,6%	486,11	13,01	122,361	52,367	403,106	72,2%
170	0,56	0,56	0,6%	486,11	13,01	122,361	58,651	409,390	72,2%
170	0,58	0,56	3,5%	486,11	13,01	122,361	60,745	411,484	72,2%

180	0,5	0,54	-7,3%	486,11	13,01	130,918	52,367	394,549	70,4%
180	0,56	0,55	2,7%	486,11	13,01	130,918	58,651	400,833	70,4%
180	0,58	0,55	5,5%	486,11	13,01	130,918	60,745	402,928	70,4%
190	0,5	0,52	-5,0%	486,11	13,01	139,475	52,367	385,992	68,6%
190	0,56	0,53	4,8%	486,11	13,01	139,475	58,651	392,276	68,6%
190	0,58	0,54	7,5%	486,11	13,01	139,475	60,745	394,371	68,6%
200	0,5	0,51	-2,6%	486,11	13,01	148,031	52,367	377,435	66,9%
200	0,56	0,52	6,8%	486,11	13,01	148,031	58,651	383,719	66,9%
200	0,58	0,52	9,6%	486,11	13,01	148,031	60,745	385,814	66,9%

Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

### **Evaluación del análisis de sensibilidad:**

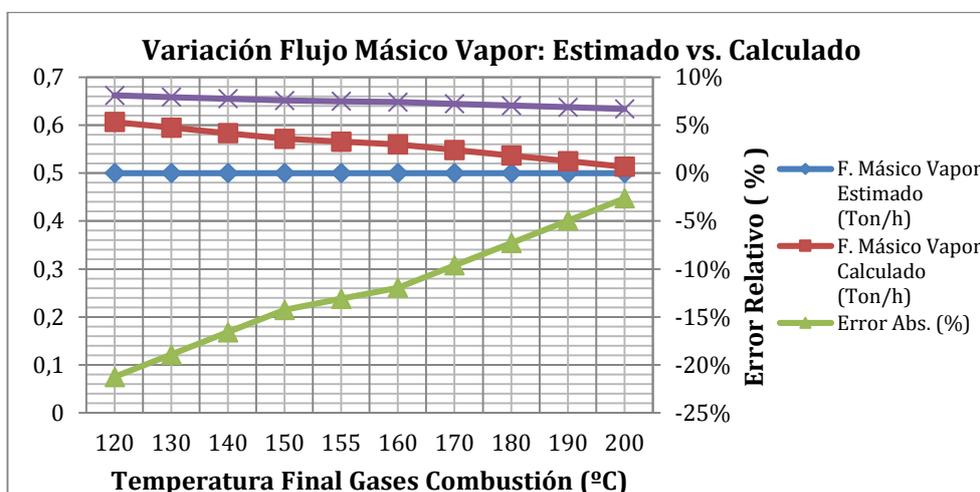
De acuerdo a referencias técnicas<sup>16</sup>, al temperatura de salida de los gases de combustión, oscila entre 120°C y 200°C para el presente caso de estudio, debido a las condiciones de planta, por lo tanto existen 9 casos posibles para la temperatura de salida de los gases, y 3 posibles casos ( $0.5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ ;  $0.56 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ ;  $0.58 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ ), para el flujo másico de agua al caldero, por lo cual de acuerdo a la complejidad en la tabulación de la información, a continuación se presenta 3 gráficas para cada flujo másico de agua para el caldero (posible condiciones de operación), en función de la temperatura de salida de los gases de combustión, por lo que se podrá ilustrar en la gráfica, el comportamiento del consumo de agua calculado en función del consumo de agua estimado, además del comportamiento de la eficiencia del caldero en términos del error

<sup>16</sup> A. Barriga – CDTS ESPOL

relativo entre el consumo de agua (calculado vs. estimado). Se identificará, para cada flujo másico, que determine el menor error relativo, se establecerá la eficiencia del caldero y la temperatura de salida de los gases de combustión.

Caso 1) Flujo másico de agua:  $0.5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .

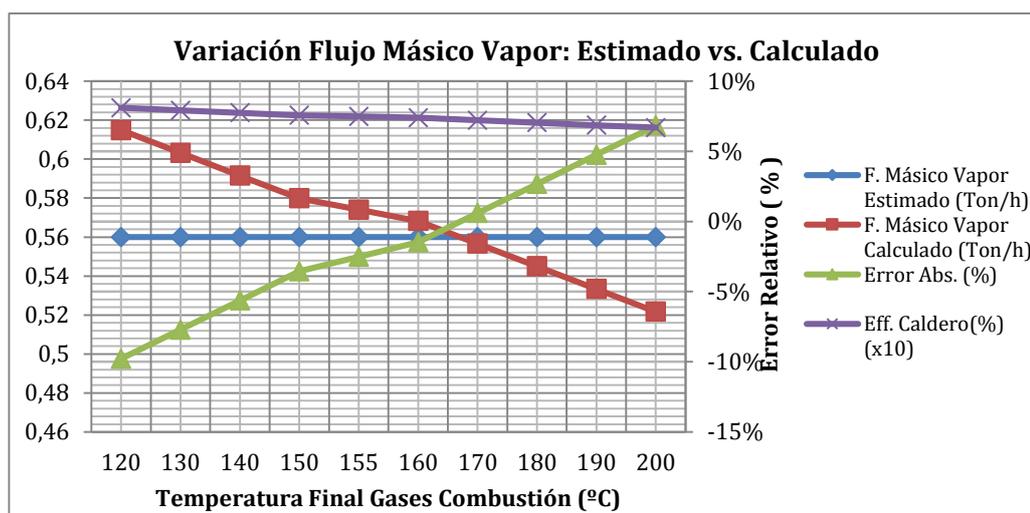
Mediante la figura 4.12, se puede ilustrar que a mayor sea la temperatura de salida de los gases de combustión, el error relativo entre el consumo de agua estimado y el consumo de agua calculado tiende a cero, mientras que el comportamiento de la eficiencia del caldero disminuye así mismo teniendo al 70%.



**FIGURA 4.12 VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL CALDERO EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA DE SALIDA PARA UN CONSUMO DE  $0.5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .**

Caso 2) Flujo másico de agua:  $0.56 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .

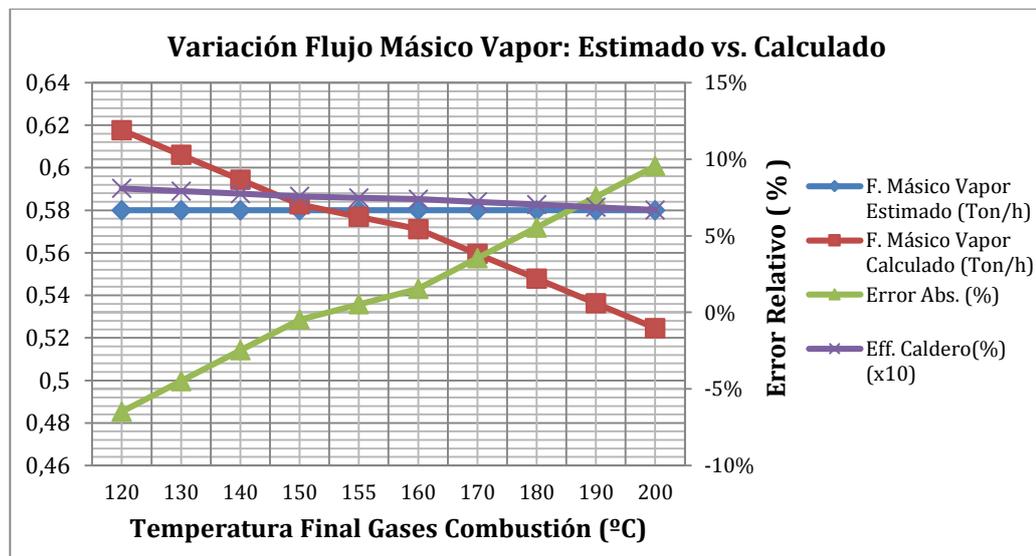
Mediante la gráfica, se ilustra un comportamiento que a mayor es la temperatura de salida de los gases de combustión, el error relativo entre el consumo de agua estimado y el consumo de agua calculado tiende a cero, pero a partir de la temperatura aproximadamente de  $165^{\circ}\text{C}$ , las 3 variables divergen entre sí, mientras que la eficiencia del caldero tiende de igual manera al 70%.



**FIGURA 4.13 VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL CALDERO EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA DE SALIDA PARA UN CONSUMO DE  $0.56 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .**

Caso 3) Flujo másico de agua:  $0.58 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .

Para el presente caso, la gráfica ilustra un comportamiento muy semejante entre la curva del consumo de agua estimado y la eficiencia del caldero, a pesar que este último tiende al 67% a mayor sea la temperatura de salida de los gases de combustión, denotando que a partir de aproximadamente 150°C, el comportamiento del consumo de agua calculado y el consumo de agua estimado divergen, aumentando el error relativo entre ambos.



**FIGURA 4.14 VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL CALDERO EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA DE SALIDA PARA UN CONSUMO DE**

$$0.58 \frac{\text{TON}}{\text{H}}$$

**Análisis de decisión para establecer las condiciones térmicas de operación.**

Para establecer la condición térmica óptima de planta, se considera como principio técnico:

- *El menor porcentaje de error relativo entre el consumo de agua estimado y el consumo de agua calculado.*
- *No considerar los casos extremos debido, a que las condiciones de operación de la planta no presentan los requisitos para la operación a condiciones críticas.*

Para lo cual mediante la tabla 6 se podrá denotar para cada flujo másico de agua considerado para la producción de vapor.

**TABLA 9**  
**ANÁLISIS DE DECISIÓN, PARA DETERMINAR LAS**  
**CONDICIONES TÉRMICAS DE OPERACIÓN DEL CALDERO**

<b>Caso</b>	<b>Consumo Agua</b> $\left(\frac{\text{Ton}}{\text{h}}\right)$	<b>Error Relativo</b> <b>(%)</b>	<b>T(°C)f. Gases</b>	<b>Eff. Caldero</b> <b>(%)</b>
1	0,5	-3%	200	70%
2	0,56	0%	167	70%
<b>3</b>	<b>0,58</b>	<b>0%</b>	<b>153</b>	<b>75%</b>

Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

Para el caso, considerando un consumo de  $0.5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , presenta el mayor porcentaje de error, además de la condición crítica en la

temperatura de salida de los gases de combustión, por lo que dicha condición térmica se descarta, de igual manera, para el caso de un consumo de  $056 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , a pesar que presenta una temperatura de salida de los gases de combustión razonable, y una eficiencia del caldero relativamente menor al cual se reporta por la planta (80%), dicha condición térmica se descarta debido, que para el flujo másico considerado significa, que el caldero producirá vapor a 80 PSI, con la máxima entalpia posible en condiciones de vapor saturado ( $h_g = 2752.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ ), condición de igual manera crítica, por lo tanto, para un flujo de  $0.58 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , produciendo vapor a condiciones razonables (80 PSI, x:95%), condición que presenta la máxima eficiencia del caldero (75%) posible en comparación al análisis de sensibilidad como se muestra en la Tabla.9, además que para la presente condición térmica, establece que para un flujo másico de gases de combustión (aproximado  $0.847 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$ ), presenta una temperatura de salida aproximada de  $153^\circ\text{C}$ , dicha condición térmica de operación se considera finalmente la más apropiada a las condiciones operativas actuales de planta, considerando que el agua de alimentación al caldero ingresa a  $90^\circ\text{C}$ , lo que corresponde una entalpia aproximada de  $377 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ , y se produce vapor a 80 PSI con el

95% de calidad, correspondiendo una entalpia del vapor aproximadamente de  $2644.32 \frac{KJ}{Kg}$ .

### **Cálculo de la demanda de energía térmica para los secadores y clarificador.**

A continuación se detallará el cálculo del requerimiento de energía que demandan los secadores (nuez y almendra), cabe resaltar que la fuente que proporcionará el requerimiento térmico es el vapor, sin embargo mediante los radiadores se calienta un flujo de aire que se inducirá en contacto directo con el producto a secar, para lo cual se considera técnicamente una eficiencia de aproximadamente :

$$\dot{E}_{requerida} = (\Delta E_{fibra}) + (\Delta E_{H_2O}) + (\Delta E_{MC});$$

Donde;

$(\Delta E_{fibra})$ : La energía que acarrea la fibra solida de la nuez/almendra al calentarse  $\left(\frac{KJ}{S}\right)$ .

$(\Delta E_{H_2O})$ : La energía que acarrea el porcentaje de agua contenida en la fibra, sin evaporarse  $\left(\frac{KJ}{S}\right)$ .

$(\Delta E_{MC})$ : La energía necesaria para evaporar el contenido humedad requerida  $\left(\frac{KJ}{S}\right)$ .

Por lo tanto, determinando cada factor que involucra el requerimiento térmico:

$$\Delta E_{fibra} = \dot{m}_{fibra} C_{p_{fibra}} \Delta T^{\circ}_{secado} + \dot{m}_{Agua\ no\ evap.} C_{p_{H_2O}} \Delta T^{\circ}_{secado} + \dot{m}_{Agua\ evap.} L_{vapo.}$$

Como se puede mostrar en la ecuación, la demanda térmica, que se requiere para el proceso de secado de la nuez y la almendra, está regido a una variable que en planta no se controla de manera directa; la diferencia de temperatura de secado de la nuez, siendo la variable directa que implica el consumo de energía para el proceso de secado, considerando los calores específicos aproximados de la nuez y la almendra ( $2 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$ ) considerando también que la nuez entra al secador con el 15% de humedad aproximadamente y la almendra con el 12% de humedad aproximadamente, para fines objetivos se descarta las variaciones en la humedad tanto en la nuez y la almendra, ya que se considera el caso crítico de operación; de igual manera el calor específico del aceite de palmiste ( $1.8 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$ ), y el calor específico del agua ( $4.2 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$ ) se mantienen constantes; la tasa térmica residual del condensado, se rige a la demanda térmica de los secadores y el clarificador y las pérdidas por radiación y purgas

en el proceso, para lo cual de acuerdo al requerimiento térmico del proceso, la entalpía del condensado se la considera a la presión de 15 PSI, debido a que el tanque donde recircula la masa de agua está a condiciones ambiente, a pesar que en el proceso se pierde agua debido a las purgas, proporcionalmente a ello influye en el consumo de agua de reposición, debido a las pérdidas térmicas. De acuerdo a las condiciones operativas y térmicas del proceso producto, la tasa de energía en el condensado, presenta una relación proporcional al consumo de agua de reposición.

Por lo tanto, surge varias posibilidades que permiten establecer técnicamente de acuerdo a las condiciones operativas de la planta, los valores de energía y masa de agua en el proceso, para lo cual se estableció como variables del proceso, la diferencia de temperatura ( $\Delta T(^{\circ}\text{C})_{\text{secado}}$ ) para el secado de la nuez y la almendra conociendo que ambos salen del proceso y permanecen a la temperatura ambiente ( $27^{\circ}\text{C}$ ), y el consumo de agua de reposición.

Por lo tanto, técnicamente se establecerán todas las posibles combinaciones entre ambas variables, con la finalidad de determinar el flujo másico del condensado y el flujo de agua de reposición que se requiere para el proceso, partiendo de los

supuestos, que el agua de alimentación al caldero (**feed water**), entra al sistema a 90°C, lo que corresponde una entalpía del fluido 377  $\left(\frac{KJ}{Kg}\right)$ , es decir ingresa al caldero a una tasa de energía de aproximadamente 60.7  $\left(\frac{KJ}{s}\right)$ .

La demanda de energía térmica para los secadores, es crucial para el balance de energía del proceso, sin embargo el requerimiento térmico del clarificador, siendo un consumidor fijo, es decir, su demanda de energía es fija, conociendo de antemano que se requiere mantener el aceite a 90°C, para poder transportarlo hacia los tanques de almacenamiento debido a su alta viscosidad (aproximado al aceite de palma @40°C: 37.8 cp.)<sup>17</sup>; para lo cual a continuación se calculará el requerimiento térmico del clarificador considerando una eficiencia del 90% que corresponde a la transferencia de calor del vapor al aceite para mantenerlo a 90°C y un calor específico del aceite de 1.8  $\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$ .

$$\dot{E}_{Req.Clarificador} \left(\frac{KJ}{s}\right) = \frac{\dot{m}_{aceite} * C_{p_{aceite}} * \Delta T(^{\circ}C)}{90\%};$$

$$= \frac{\left(14139 \frac{Kg}{día} * \frac{1día}{24h * 3600s}\right) * \left(1.8 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}\right) * (90^{\circ}C - 27^{\circ}C)}{90\%};$$

<sup>17</sup> Tomado del link: <http://www.indupalma.com/aceite-de-palma>

$$\dot{E}_{Req.Clarificador} = 20.6 \frac{KJ}{S} //$$

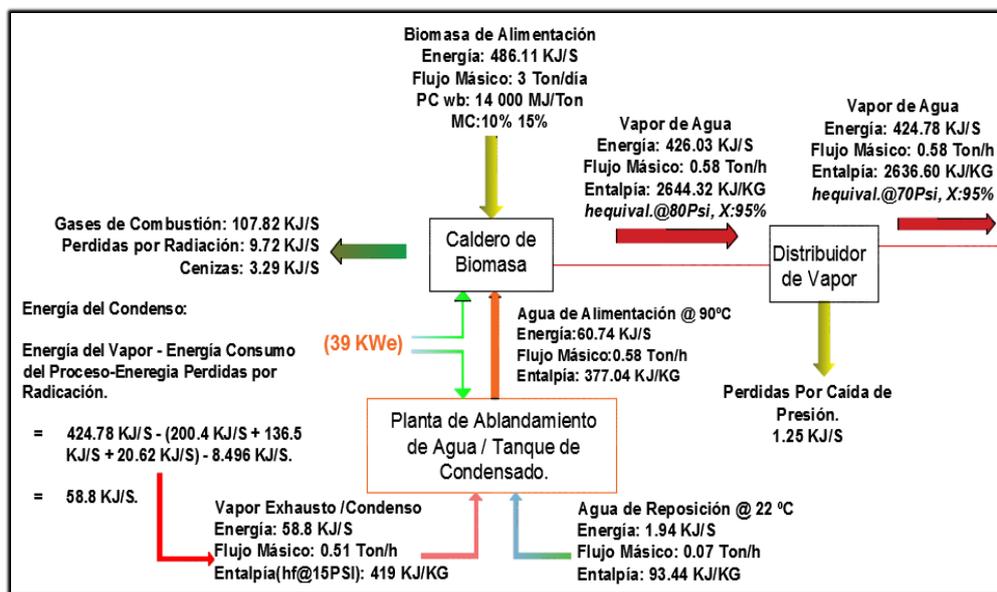
Por lo tanto, una vez calculado la demanda térmica del clarificador, se procede a calcular el requerimiento térmico de los secadores, considerando un eficiencia del 85%, el cual representa la transferencia de calor en los radiadores, debido a que el vapor calienta un flujo de aire, el mismo que se inyecta en contacto directo con la nuez y la almendra en secadores por separado.

Sin embargo como se mencionó anteriormente las posibilidades en determinar las variables del proceso bajo las condiciones de operación para establecer un correcto balance de energía, presentan varias combinaciones posibles, por lo que a continuación se desarrollarán todas las posibles soluciones para determinar la condición de operación apropiada.

**Metodología de Cálculo para determinarlas condiciones de operación en función de la diferencia de temperatura de secado de la nuez y la almendra.-**

Se produce vapor a una tasa térmica de  $426.03 \frac{KJ}{S}$  que corresponde un flujo másico de vapor de  $0.58 \frac{Ton}{h}$  @80PSI con el 95%de calidad, con una eficiencia térmica del caldero del 75%, el distribuidor de

vapor produce una pérdida de energía de  $1.25 \frac{\text{KJ}}{\text{S}}$ , por lo cual el flujo de vapor ingresa al proceso a una tasa térmica de  $424.78 \frac{\text{KJ}}{\text{S}}$ . Conociendo que el clarificador consume una tasa de energía de aproximadamente  $20.6 \frac{\text{KJ}}{\text{S}}$ , como se lo puede mostrar gráficamente en la Figura 4.15, por lo tanto para calcular la demanda térmica de los secadores, se deberá realizar todas las posibles combinaciones entre las variables del proceso, las cuales son, la diferencia de temperatura ( $\Delta T(^{\circ}\text{C})_{\text{secado}}$ ) para el secado de la nuez y la almendra, y el consumo de agua de reposición al condensador.



Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

**FIGURA 4.15 BALANCE DE ENERGÍA CONDENSADOR - CALDERO**

Para poder establecer las combinaciones posibles, para cada variable se debe expresar los rangos de operación posibles, es decir los secadores tienen 3 zonas de calor, como se detalló en la sección 3.1 – características técnicas de cada componente del proceso, las zonas de calor en los secadores se encuentran a 40°C, 60°C y 80°C, por lo tanto se tomarán los valores críticos para establecer los rangos de operación del secador en función de la tasa de energía que consumen la nuez y la almendra para su proceso de secado, teniendo en cuenta las condiciones de operación, que se detallaron en la sección 2.2 – proceso de extracción de aceite de palmiste, donde se fija la humedad a la cual el secador extrae en la nuez y la almendra para su posterior proceso.

Asumiendo que la nuez y la almendra ingresan al proceso a 27°C, la diferencia de temperatura para el proceso de secado se fijará en función de las posibles temperaturas a la cual la nuez y la almendra llegarían al proceso de secado que podrá ser idealmente como máximo hasta 90°C y mínimo 50°C, por lo tanto se establece el rango operativo de la variable concerniente al proceso de secado.

Además de la temperatura de secado a la cual debe de llegar la nuez y la almendra, la otra variable identificada, es el consumo del

agua de reposición, por lo que la importancia de establecer el valor apropiado de la entalpia del condensado, es debido a la relación que se pudo determinar entre el consumo de agua de reposición, cantidad que sustituye a la masa de agua que se pierde en el proceso, y la entalpia del condensado. La relación que presentan es proporcional, por lo cual a mayor sea la entalpia del condensado, mayor será el consumo del agua de reposición, debido a que se requerirá menor masa de agua para transmitir la tasa térmica del condensa, proporcional a ello se requerirá un mayor flujo másico de agua de reposición, para establecer el flujo másico de agua de alimentación al caldero de acuerdo a las condiciones de operación, aproximadamente  $0.58 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ .

### **Estimación de la entalpia del vapor en los consumidores.**

Antes de poder establecer las condiciones del agua de reposición en función de los parámetros de planta de la temperatura de secado y el condensa, es necesario identificar las condiciones del vapor en el proceso, debido a que en términos de aquello, se identifica finalmente la tasa térmica en el condensa.

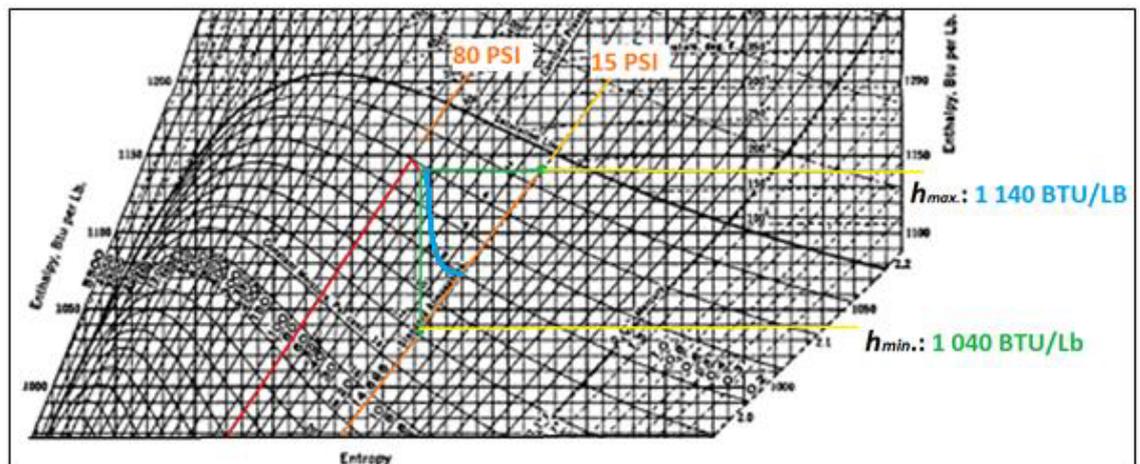
Para lo cual de acuerdo a la condiciones de planta, se estableció que el vapor de agua producido entra al proceso posterior al

distribuidor @70 PSI, lo singular del caso actual, es que no se mide las condiciones del vapor exhausto, debido a que se pudo determinar que el proceso productivo funciona como un condensador del vapor, por lo que por medio de trampas de agua, se receipta el condensa para enviarlo directo al tanque de condensa.

Por lo tanto, para estimar técnicamente el valor de la entalpia del vapor exhausto, se toma en consideración dos principios termodinámicos para así establecer todos los posibles casos en que el valor de la entalpia del vapor de agua en el proceso, se pueda ajustar a las condiciones de operación de la planta.

Considerando idealmente una expansión isoentálpica como si el vapor exhausto converge mediante una válvula de estrangulamiento como el caso máximo posible, hasta un posible caso como si se tratase que el vapor exhausto se expansionará isotrópicamente, bajo condiciones ideales; una vez establecida las dos condiciones termodinámicas, se fijan 2 punto posibles, como se puede ilustrar mediante la figura 4.16 el **Diagrama de Mollier** para el agua, sin embargo como se puede mostrar en la figura 4.16, se tomó como condición fija de operación, el vapor se expansiona directamente en el condensador a la presión ambiente, aproximadamente 15 PSI,

por motivo que todo el flujo másico del vapor exhausto de acuerdo a las condiciones de planta representa un ciclo térmico cerrado.



Tomado del link: <http://es.scribd.com/doc/7082809/Diagramas-Molier-Para-Agua>

#### FIGURA.4.16 CONSIDERACIONES TERMODINÁMICA DE EXPANSIÓN DEL VAPOR EXHAUSTO.

El vapor de agua en los consumidores podrá tomar cualquier valor, considerando el caso máximo con una entalpia de  $1140 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$  hasta el caso mínimo con una entalpia de  $1040 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$ , a un presión a la cual se expansiona el vapor de 15 PSI, es decir a la presión antes mencionada empieza el proceso de entregar la energía del vapor a los consumidores, resultando, el agua condensada.

Finalmente se considera apropiado, que la entalpia del vapor en los consumidores no representaría uno de los valor extremos al rango mencionado, además debido a las ineficiencias del proceso, se establece un valor por debajo de la media ( $1090 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$ ), fijando así la entalpia en aproximadamente  $1080 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$  @ 15PSI, comienza el proceso de expansión del vapor, hasta entregar toda la energía posible de acuerdo a la demanda térmica de los consumidores; condensando así el vapor en el proceso, para lo cual el agua(condenso) se recircula al tanque de condensado a la entalpia de líquido saturado de acuerdo a las condiciones de expansión del vapor.

#### **Balance Térmico en el Tanque de Condensado.-**

Una vez establecido los rangos de operación para las variables identificadas, para poder asignar todos los posibles casos en que puedan tomar un valor de acuerdo a las condiciones de operación, se procede a calcular la tasa de energía del condensa, valor que resulta a partir de la tasa de energía que provee el vapor al proceso menos, la energía que consumen los secadores, para los cuales se tomarán todos los posibles casos, también se considera la energía que acarrea el clarificador, y finalmente la energía por perdidas por radiación y purgas del proceso. La tasa de energía correspondiente

a las pérdidas por radiación en tuberías y purgas, se considerará que es aproximadamente igual al 1.5 % de la energía que provee el vapor al proceso ( $424.78 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$ ).

Mediante la tabla 9, se muestra la tabulación de todas las combinaciones posibles que las dos variables del proceso, identificadas anteriormente podrán tomar cualquier valor de acuerdo a los rangos de operación previamente identificados. Cabe resaltar que para determinar el consumo de agua de reposición, se expresa en función del flujo másico del agua de alimentación menos el flujo másico del agua condensada del proceso.

**TABLA 10**  
**TABULACIÓN DE DATOS PARA DETERMINAR LAS**  
**CONDICIONES TÉRMICAS DE SECADO.**

Variable - Proceso	Condiciones Térmicas - Consumidores de Energía					Condiciones Térmicas - Condensado			Condiciones Térmicas - Agua Reposición		
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ secado	$\dot{E}_{\text{Secad.Nuez}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right)$	$\dot{E}_{\text{Secad.Almend.}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right)$	$\dot{E}_{\text{Aceite}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right)$	$\dot{E}_{\text{Perd.Rad.}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right)$	$\dot{E}_{\text{Vapor}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right)$	$\dot{E}_{\text{Condensado}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right)$	$h_{\text{Condensado}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$	$\dot{m}_{\text{Condensado}} \left( \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \right)$	$\dot{m}_{\text{AguaRepos.}} \left( \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \right)$	$\dot{E}_{\text{FeedWater}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right)$	$h_{\text{AguaRepos.}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$
DT(90-27)	258,2	153,3	20,6	6,372	424,78	-13,7	419,1	-0,12	0,70	60,74	384,10
DT(85-27)	244,4	149,2	20,6	6,372	424,78	4,2	419,1	0,04	0,54	60,74	374,21
DT(80-27)	230,6	145,0	20,6	6,372	424,78	22,1	419,1	0,19	0,39	60,74	356,50
DT(70-27)	<b>203,1</b>	<b>136,8</b>	<b>20,6</b>	<b>6,372</b>	<b>424,8</b>	<b>58,0</b>	<b>419,1</b>	<b>0,50</b>	<b>0,08</b>	<b>60,74</b>	<b>122,22</b>
DT(65-27)	189,3	132,6	20,6	6,372	424,78	75,9	419,1	0,65	-0,07	60,74	759,24
DT(60-27)	175,5	128,5	20,6	6,372	424,78	93,8	419,1	0,81	-0,23	60,74	527,19
DT(55-27)	161,7	124,4	20,6	6,372	424,78	111,7	419,1	0,96	-0,38	60,74	483,34

Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

De acuerdo a la fórmula detallada anteriormente, se determina la tasa de energía para los secadores, para todos los posibles casos, se considera también la tasa de energía del clarificador y de las pérdidas por radiación y purgas en tuberías. Todos los valores determinados están en función de las condiciones posibles para la temperatura de secado de la nuez y la almendra considerando la tasa de energía del condensado en términos de la entalpia previamente identificada ( $419.06 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ ).

Como se puede mostrar existen valores inconsistentes, que detallan un consumo de agua en valores negativos, por lo tanto de todos los casos posibles se descartan las condiciones resulten datos inconsistentes. Además se descarta el valor máximo de la tabla el cual se consideró como valor máximo ideal, debido a que de acuerdo a lo que establece la planta, los secadores no sobre pasan una temperatura de 80 °C.

Por lo tanto, de la tabla del cual se evaluaron todos los posibles casos, se dictamina que la temperatura de secado llega hasta los 70°C, por lo cual a las condiciones de planta establecidas como el agua de alimentación ( $0.58 \frac{\text{TonAgua}}{\text{h}} @ 90^\circ\text{C}$ ) y la entalpia del

condenso, mediante la tabla 8 se podrá detallar el resultado del balance térmico en el tanque de condensado.

Análisis de los resultados.

De acuerdo a las condiciones posibles, se tomará en consideración los siguientes principios técnicos, con el objetivo de depurar la tabla 8 mostrada hasta llegar a las condiciones más apropiadas de operación de la planta.

- *Se considera condición de operación, los valores que no sean extremos debido a que las condiciones ideales asumidas no son próximas a las condiciones reales de la planta.*
- *Se considera condición de operación, los valores que se ajusten a las condiciones de planta.*

En base a los principios considerados, de la tabla 8:

Se puede denotar que la temperatura de secado de la nuez es aproximadamente 70°C, condición que se adapta a los principios de operación de la planta, específicamente en el proceso de secado, esto implica que:

$$\Delta T(^{\circ}\text{C})_{\text{secado}} = 70^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C} = 43^{\circ}\text{C};$$

Por lo tanto calculando la tasa de energía que demanda el secador de nuez;

$$\begin{aligned} \Delta \dot{E}_{\text{Nuez}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{S}} \right) &= \left[ \dot{m}_{\text{Nuez}} C_{p_{\text{fibra}}} \Delta T^{\circ}_{\text{secado}} + \right. \\ &\quad \left. \dot{m}_{\text{Agua no evap.}} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \Delta T^{\circ}_{\text{secado}} + \dot{m}_{\text{Agua evap.}} L_{\text{vapo.}} \right] \cdot \frac{1}{\text{eff.}}; \\ &= \left( 1 \frac{\text{Kg}}{\text{S}} \right) \cdot \left[ (1 - 15\%) \cdot \left( 2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right) \cdot (43^{\circ}\text{C}) + (12\%) \cdot \left( 4.2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right) \cdot (43^{\circ}\text{C}) + \right. \\ &\quad \left. (15\% - 12\%) \cdot \left( 2256 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \right] \cdot \frac{1}{80\%}; \\ &= \mathbf{203.1 \frac{\text{KJ}}{\text{S}}}. \end{aligned}$$

De igual manera calculando la tasa de energía que demanda el secador de almendra;

$$\begin{aligned} \Delta \dot{E}_{\text{Almend.}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{S}} \right) &= \left[ \dot{m}_{\text{Almend.}} C_{p_{\text{fibra}}} \Delta T^{\circ}_{\text{secado}} + \right. \\ &\quad \left. \dot{m}_{\text{Agua no evap.}} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \Delta T^{\circ}_{\text{secado}} + \dot{m}_{\text{Agua evap.}} L_{\text{vapo.}} \right] \cdot \frac{1}{\text{eff.}}; \\ &= \left( 0.36 \frac{\text{Kg}}{\text{S}} \right) \cdot \left[ (1 - 12\%) \cdot \left( 2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right) \cdot (43^{\circ}\text{C}) + (2\%) \cdot \left( 4.2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right) \cdot (43^{\circ}\text{C}) + \right. \\ &\quad \left. (12\% - 2\%) \cdot \left( 2256 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \right] \cdot \frac{1}{80\%}; \end{aligned}$$

$$= 136.8 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}//.$$

Una vez determinado el valor de los consumidores de energía como son los secadores y el clarificador, se procede a determinar la tasa de energía del vapor exhausto, de la siguiente manera:

$$\dot{E}_{Vapor\ Exh.} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right) = \dot{E}_{Vapor} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right) - \dot{E}_{consumidores} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right) - \dot{E}_{Radia.} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right);$$

$$= 424.8 - (203.1 - 136.8 - 20.6) - 0.015(424.8);$$

$$= 58.0 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \right) //.$$

Determinado la tasa de energía, de acuerdo a las condiciones de operación, se identifica mediante la tabla 8 la entalpia del vapor exhausto que se ajusta apropiadamente a las condiciones de operación de la planta, así mismo las condiciones térmicas del agua de reposición:

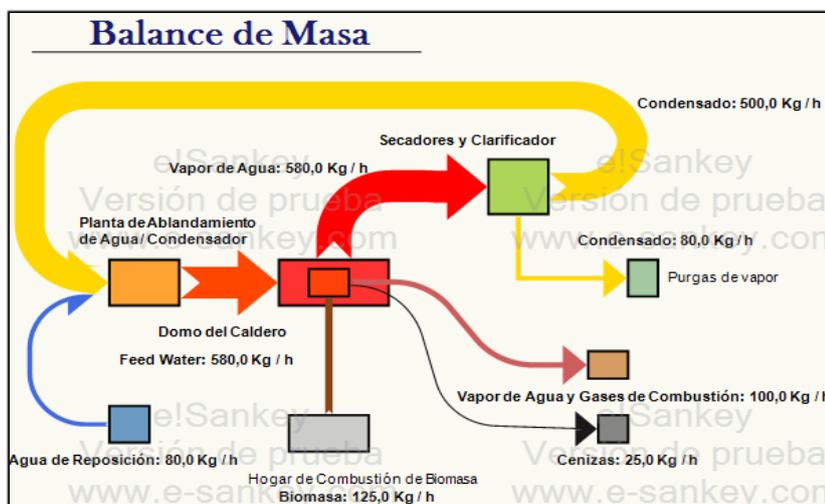
$$h_{Agua\ Reposición} = 122.22 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{KG}} \right);$$

$$T_{Agua\ Reposición} = \text{Entre } 25^{\circ}\text{C y } 30^{\circ}\text{C};$$

Finalmente para el balance de masa y energía se resuelve, que el flujo másico del condensa es aproximadamente  $0.5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , y el flujo de agua de reposición al sistema es aproximadamente  $0.08 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , lo que

converge en las condiciones del balance de masa y energía del proceso.

Finalmente para una mejor apreciación, mediante un **diagrama de sankey** se ilustra en la figura 4.17, el balance de masa de agua de acuerdo a las condiciones de operación, enfocados en el condensado, en función de los consumidores de energía en el proceso y las condiciones térmicas del agua de reposición, además se enfatiza el balance de masa del combustible utilizado (biomasa residual).

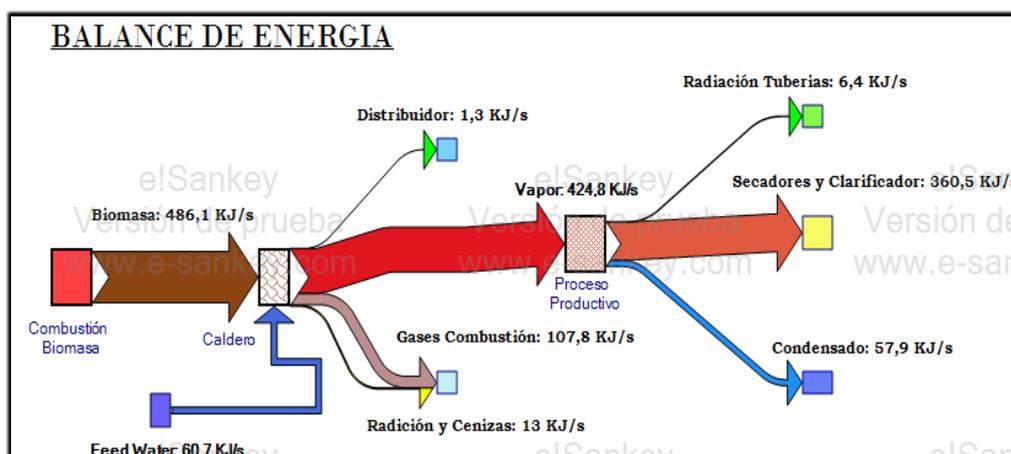


Fuente: e! Sankey–Software libre. Tomado del link: <http://www.sankey-diagrams.com/sankey-diagram-software/>.

**FIGURA 4.17 BALANCE DE MASA DE AGUA Y**

**COMBUSTIBLES PARA EL CALDERO**

De igual manera, para una mejor apreciación, mediante un diagrama de sankey, se puede ilustrar en la figura 4.18 el esquema general del balance de energía para el proceso productivo, en términos de la energía termoquímica del combustible, además de identificar los consumidores de energía del proceso como los secadores y el clarificador, considerando también las pérdidas por radiación y purgas, para así establecer la tasa térmica del vapor exhausto.



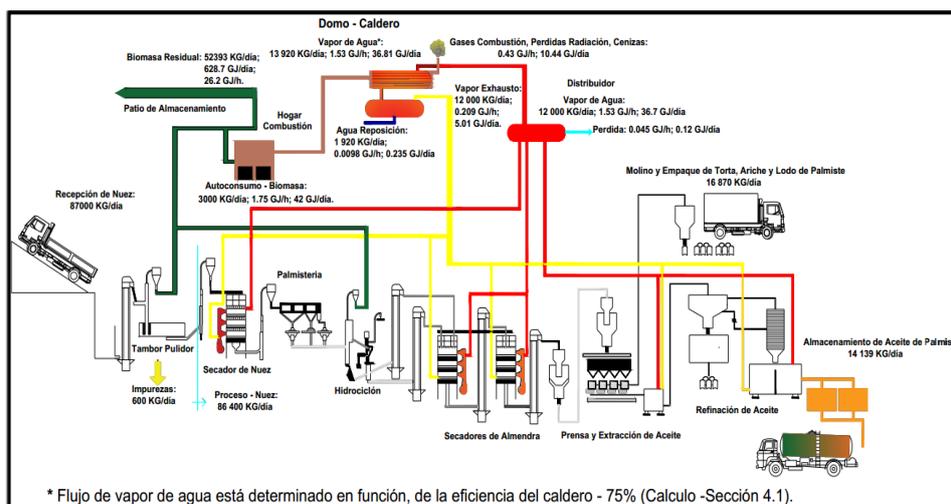
Fuente: e! Sankey–Software libre. Tomado del link: <http://www.sankey-diagrams.com/sankey-diagram-software/>.

**FIGURA.4.18 BALANCE DE ENERGÍA TÉRMICA Y TERMOQUÍMICA DEL PROCESO.**

Para el caso de estudio presente, se evidencia que en términos de la tasa térmica del vapor ( $424.8 \frac{KJ}{s}$ ), el 1.5 % representa la energía que se pierde a través de radiación térmica en tuberías y purgas en el proceso, además solamente los consumidores de energía en el proceso acarrean el 84.9% de la energía del vapor, resultando una tasa energética residual del 13.45% correspondiente al condensado ( $57.9 \frac{KJ}{s}$ ).

### **Balance de Masa y Energía – Proceso Productivo**

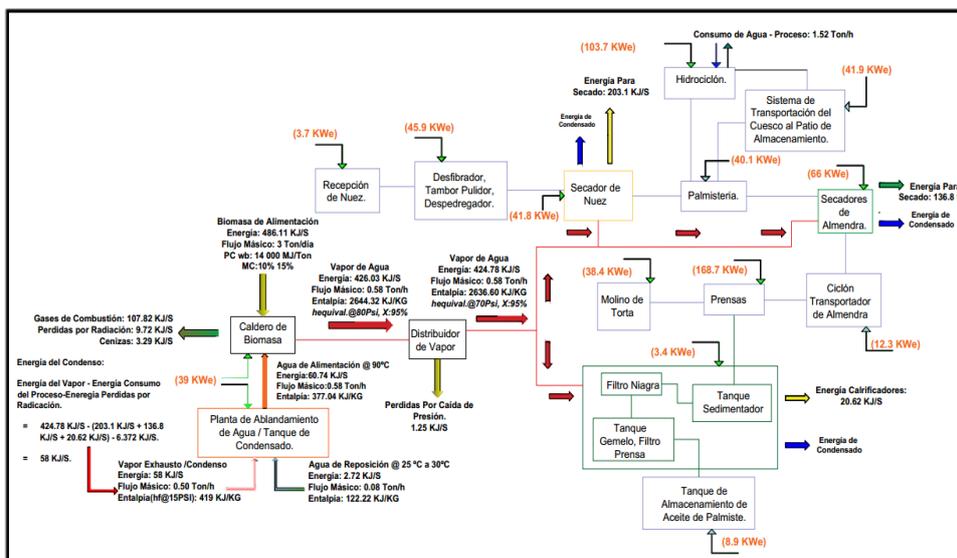
Como se ilustra a continuación mediante la figura 4.19 el esquema general de la planta, mediante un resumen gráfico, donde detalla el balance de masa correspondiente al producto en proceso y sus derivados, el consumo de agua del caldero, y el balance de energía térmica del proceso productivo.



Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

### FIGURA.4.19 ESQUEMA PROCESO – BALANCE MASA Y ENERGÍA.

De igual manera, para poder entender integralmente el proceso productivo, mediante la figura 4.20, se detalla el balance de masa de agua y vapor para el proceso productivo, el balance de energía térmica, termoquímica, y la capacidad eléctrica instalada por cada área del proceso, para poder identificar los sectores principales en demanda de energía térmica, sino también en término de la capacidad eléctrica.



Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

#### FIGURA.4.20 BALANCE DE MASA (AGUA), ENERGÍA (TÉRMICA, TERMOQUÍMICA) Y POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA.

Como se puede mostrar en la figura 4.20, los consumidores de energía del proceso (secadores y clarificador), representan no solo el 84.60% del consumo de energía del vapor producido, sino también, el 28.2% de la capacidad eléctrica instalada en la planta, lo que de acuerdo a un consumo equivalente continuo de la planta de 374 KWe como se lo indico en la sección 3.3 del presente trabajo, equivaldría un consumo eléctrico de aproximadamente 105,5 KWe continuos, cabe resaltar que la presente aseveración, técnicamente

debe ser corroborada mediante analizadores de energía eléctrica en los puntos específicos de consumo.

Finalmente se puede constatar que el consumo de agua de la planta, es aproximadamente  $2.1 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , para el proceso productivo, siendo  $1.52 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  para el sistema de hidrociclones, y  $0.58 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  para la producción de vapor por medio del caldero, además de un consumo específico de  $125 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$  de biomasa residual seca (MC:<15%), lo que representa un consumo de energía termoquímica de  $486.11 \frac{\text{KJ}}{\text{S}}$ .

#### **4.2 Valoración de Biomasa Residual del Proceso: Cantidad y Características.**

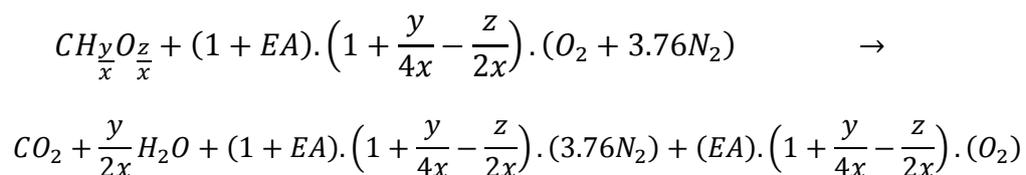
Del balance de masa detallado en la sección anterior, la planta produce biomasa residual, aproximadamente  $55.4 \frac{\text{Ton}}{\text{dia}}$ , proveniente del área de palmisteria ( $25 \frac{\text{Ton}}{\text{dia}}$ ) y de los hidrociclones ( $30.4 \frac{\text{Ton}}{\text{dia}}$ ) y por lo general aunque no se cuantifica en función del nivel productivo de la planta ( $86.4 \frac{\text{Ton}}{\text{dia}}$  de nuez), al patio de almacenamiento también se aloja aproximadamente  $600 \frac{\text{KG}}{\text{dia}}$  de fibra de nuez, la singularidad de la producción de biomasa residual, es

que termina siendo una mezcla entre, fibra de nuez seca, cuesco seco y cuesco húmedo, para lo cual surge la necesidad de no solo establecer los *factores termoquímicos que influyen* en la combustión de la biomasa como son la **relación aire – combustible, el exceso de aire en el hogar del caldero**, sino también **el contenido de humedad** de la mezcla de la biomasa residual.

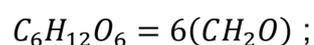
Para lo cual a continuación, se detallará el cálculo para determinar las factores que influyen en la combustión de la biomasa, para el caldero actual de la planta, con la finalidad de estimar técnicamente, las condiciones para la mezcla de la biomasa residual del proceso como es el contenido de humedad entre otros, considerando que las características de la biomasa residual en términos de composición química son similares.

### **Metodología de cálculo para determinar los factores influyentes en la combustión de la biomasa.**

Partiendo de la ecuación de combustión:



Se Considera la siguiente composición química de la biomasa residual (cuesco de nuez de la palma africana).



Cabe resaltar que la gerencia de la planta no registra la composición de la biomasa producida, por lo que se parte de una aproximación<sup>18</sup>.

Por lo tanto se procede a balancear la ecuación de combustión completa, determinando los coeficientes de cada elemento químico.

Para lo cual;

$$\frac{y}{x} = 2;$$

$$\frac{z}{x} = 1;$$

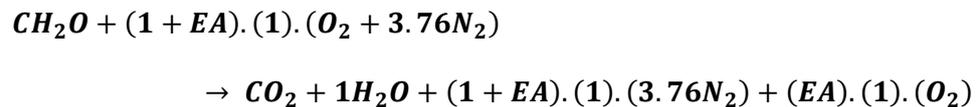
Por lo tanto, se procede a determinar los coeficientes molares correspondientes de la ecuación:

$$\left(1 + \frac{y}{4x} - \frac{z}{2x}\right) = 1 + \frac{2}{4} - \frac{1}{2} = \frac{2}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 1;$$

---

<sup>18</sup> A. Barriga, Catedra: Sistemas de Conversión de Energía. ESPO, 2014.

Finalmente balanceando la ecuación de combustión completa, queda de la siguiente manera:



Establecida la ecuación de combustión balanceada, cuya finalidad principal es determinar la relación aire/combustible real ( $r \frac{aire}{biomasa}$ ), considerando el exceso de aire en la combustión de la biomasa; cabe resaltar que el detalle térmico anteriormente detallado, no lo registra la gerencia de la planta por lo que a continuación se detallará la relación aire/combustible en función del exceso de aire, la cual se estimará con el debido criterio técnico<sup>19</sup>.

$$r \frac{aire}{biomasa} |_{real} = \frac{(1 + EA). (1). (O_2 + 3.76N_2)}{CH_2O};$$

$$= \frac{(1 + EA). (1). (16 * 2 + 3.76 * 14 * 2)}{12 + 1 * 6 + 16};$$

$$= (1 + EA). (4.038) //.$$

---

<sup>19</sup> A. Barriga, Catedra: Sistemas de Conversión de Energía. ESPO, 2014.

Por lo tanto estableciendo la relación aire/combustibles para todos los posibles casos, donde el exceso de aire (EA), puede tomar valores en la operación del hogar en la combustión de la biomasa.

**TABLA 8.**  
**RELACIÓN AIRE/COMBUSTIBLES PARA CADA POSIBLE**  
**EXCESO DE AIRE EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN.**

EA	EA (%)	$r \frac{\text{aire}}{\text{biomasa}}$
0	0%	4,0
1	100%	8,1
1,5	150%	10,1
2	200%	12,1
2,5	250%	14,1
3	300%	16,2

Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

### **Evaluando el Poder calorífico de la biomasa en base húmeda.**

Para determinar el poder calorífico real de la biomasa residual utilizada, se parte de la siguiente ecuación:

$$LHV \left[ \frac{MJ}{Kg} \right] = HHV \left( \frac{MJ}{Kg} \right) \cdot (1 - MC(\%)) - L_v \left( \frac{MJ}{Kg} \right) \cdot ((MC(\%)) + r \frac{Kg H_2O}{Kg Biomasa_s} \cdot x \frac{Kg Biomasa_s}{Kg Biomasa_h});$$

Donde;

$LHV \left[ \frac{MJ}{Kg} \right]$ : Poder calorífico inferior o en base húmeda de la biomasa.

$HHV \left( \frac{MJ}{Kg} \right)$ : Poder calorífico superior o en base seca de la biomasa.

$MC(\%)$ : Contenido de humedad.

$L_v \left( \frac{MJ}{Kg} \right)$ : Calor de vaporización del agua @100°C y presión de saturación.

$r \frac{Kg H_2O}{Kg Biomasa_s}$ : Relación másica por cada Kg de agua por cada Kg de biomasa seca.

$x \frac{Kg Biomasa_s}{Kg Biomasa_h}$ : Relación másica por cada Kg biomasa seca por cada Kg de biomasa húmeda.

Partiendo de la fuente técnica<sup>20</sup>, el poder calorífico superior o HHV siendo sus siglas en inglés (High Heating Value) del cuesco de la nuez de la palma africana, se establece en  $17,34 \left(\frac{MJ}{Kg}\right)$ .

Además, se considera como el calor de vaporización del agua @100°C a la presión de saturación en  $2.2564 \left(\frac{MJ}{Kg}\right)$ , obtenida de una fuente académica establecida<sup>21</sup>.

Para establecer el poder calorífico de la biomasa en base húmeda se procede a determinar cada coeficiente de la ecuación.

El fundamento teórico que establece la capacidad calórica de la biomasa establece que a mayor porcentaje de humedad, menor será el poder calorífico, debido a que el agua es un acarreador de energía.

Sin embargo no solo influye el contenido de agua en la humedad conocido también como agua física, sino también influye el porcentaje de hidrogeno que contiene la biomasa, debido a que en la reacción de combustión, la biomasa por combustión directa reacciona con el oxígeno del aire y el contenido de hidrogeno forma vapor de agua, convirtiéndose en un acarreador de energía; el vapor de agua que se forma debido a reacción de combustión se

---

<sup>20</sup> Ingrid Miranda, Olga Amaris. Proyecto de Grado. “Aprovechamiento del potencial energético de la biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma en Colombia”. Universidad de Santander. Bucaramanga – Colombia. 2009.

<sup>21</sup> LIBRO DE TERMODINAMICA—Revisar y corregir

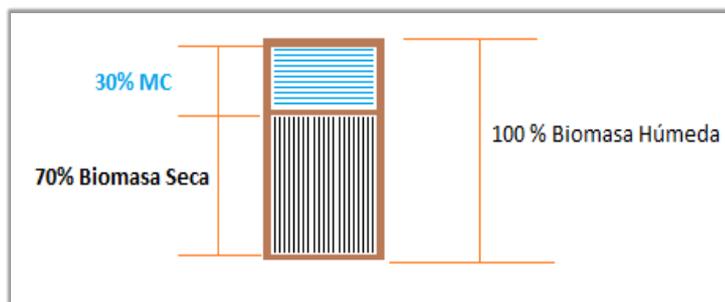
conoce como agua química, por lo que de la ecuación se determina la relación de agua que se forma postcombustión en función de la biomasa húmeda.

Para lo cual los factores que influyen el contenido de agua química se determina a continuación:

$r \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg Biomasa}_s}$ ; El presente factor representa la fracción másica del contenido de agua que se forma postcombustión en función de la biomasa húmeda, valores que se determinan en la ecuación de combustión, es decir:

$$r \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg Biomasa}_s} = \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{CH}_2\text{O}} = \frac{(1*2+16)}{12+1*2+16} = 0.6//.$$

$x \frac{\text{Kg Biomasa}_s}{\text{Kg Biomasa}_h}$ ; El presente factor representa la fracción de la biomasa seca, lo que es igual al el valor porcentual de la biomasa húmeda menos el contenido de humedad, la cual es igual al 70%(1-MC (%)), como se muestra en la figura 4.21.



Fuente: Aroca Ramos F. – Figura Ilustrativa 2014.

**FIGURA 4.21. ESQUEMA GRAFICO DE COMPOSICIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA HÚMEDA.**

Por lo tanto la ecuación del poder calorífico en función del contenido de húmeda, resulta:

$$LHV \left[ \frac{MJ}{Kg} \right] = 17.34 \left( \frac{MJ}{Kg} \right) \cdot (1 - MC(\%)) - 2.2564 \left( \frac{MJ}{Kg} \right) \cdot \left( MC(\%) + 0.6 \frac{Kg H_2O}{Kg Biomasa_s} \cdot 0.7 \frac{Kg Biomasa_s}{Kg Biomasa_h} \right);$$

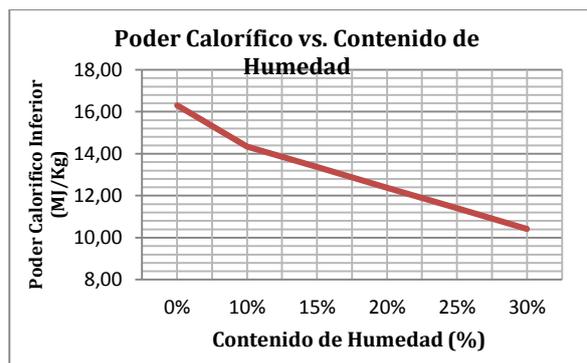
$$LHV \left[ \frac{MJ}{Kg} \right] = 17.34 \left( \frac{MJ}{Kg} \right) \cdot (1 - MC(\%)) - 2.2564 \left( \frac{MJ}{Kg} \right) \cdot \left( MC(\%) + 0.46 \right);$$

Debido a que la gerencia de planta no registra el contenido de humedad del cuesco de la nuez de la palma africana, se estima con criterio técnico mediante un análisis de sensibilidad, la cual refleja a continuación mediante la tabla 9.

**TABLA 12**  
**ESTIMACIÓN DEL PODER CALORÍFICO EN FUNCIÓN DEL**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD.**

MC (%)	LHV (MJ/Kg)
0%	16,30
10%	14,34
15%	13,36
20%	12,38
25%	11,40
30%	10,42

(a)



(b)

Fuente: Aroca Ramos F. – Tabulación datos. 2014.

Como se mencionó anteriormente, la biomasa que actualmente se utiliza (biomasa seca), para autoconsumo, en la producción de vapor en el caldero, presenta del 10% al 15% de contenido de humedad, con un capacidad calorífica de  $14\,000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}$ , para lo cual se puede ilustrar en la tabla 9 (a), a mayor sea el contenido de humedad en la biomasa menor será la capacidad calórica del combustible, debido a que se requerirá una parte de su energía termoquímica que acarreará la humedad contenida en el

combustible, para lo cual se puede ilustrar de manera gráfica en la tabla 9 (b).

### **Valoración de la Biomasa Residual del Proceso.**

La planta piloto, de un consumo de  $3\,000 \frac{\text{KG}}{\text{día}}$  de biomasa residual, específicamente una mezcla de fibra de nuez (20%) y cuesco de nuez (8%), que en la mayoría de los casos se cuantifica el 100% del combustible como cuesco de nuez, debido a que se lo mide en términos del tonelaje de nuez que se procesa.

Por tal motivo, las fuentes dentro del proceso que producen biomasa residual, son el desfibrador, equipo que aunque se lo considera en la producción de fibra de nuez, no se lo considera para cuantificar la biomasa residual del proceso debido a que pertenece al proceso de limpieza, y es a partir de los secadores donde se cuantifica las 86.4 Toneladas de nuez a procesar. Además del desfibrador, los equipos del proceso que generan biomasa residual, son el túnel de succión que funciona como separador de cuesco seco y almendra seca, previo a los hidrociclones, los cuales generan biomasa residual con un alto contenido de humedad, resultando así cuesco húmedo.

Del área de palmisteria no se identifica como un productor de biomasa residual debido a que los subproductos que genera como torta de palmiste, ariche entre otros, se los comercializa en la industria alimenticia para uso animal.

Por tanto en base a las estimaciones en campo, y corroborando la información a través del balance de masas detallado en el sección anterior, se puede establecer que la planta produce aproximadamente 55 393 Kilogramos de biomasa residual por día de producción de aproximadamente 24 horas, biomasa constituida principalmente de cuesco seco y cuesco húmedo.

Cabe resaltar que de acuerdo a lo estimado por la planta, presentan un consumo de 3 Toneladas por día, de cuesco seco, por lo tanto se estima que la planta produce aproximadamente 52 393 kilogramos de biomasa residual por día de producción, lo cual considerando el tonelaje total como una mezcla parcialmente homogénea, en base a las características en términos del contenido de humedad y poder calorífico como se puede ilustrar en la Tabla 12., la biomasa residual potencial se caracteriza con un contenido de humedad del 20% al 25%, lo que representaría un contenido energético de aproximadamente  $12\ 000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}$ .

### **4.3 Evaluación del potencial energético disponible para cogeneración.**

De acuerdo a lo establecido en secciones anteriores del presente trabajo, la planta produce apropiadamente 55.4 Toneladas de biomasa en un día de producción, del cual autoconsumo aproximadamente 3 Toneladas, resultando con una producción neta de 52.4 Toneladas al día. Sin embargo para poder establecer el potencial energético, con la cual la planta contaría para evaluar la posibilidad de implementar un sistema de cogeneración eléctrica, es necesario cuantificarlo en términos anuales.

Por lo considerando las condiciones actuales de operación de la planta, aproximadamente 24 horas al día, 4 días a la semana y 52 semanas al año, se establece que la planta presenta una producción potencial de aproximadamente 10 899 Toneladas de biomasa residual al año, con un contenido de humedad del 25% y una capacidad termoquímica de  $12\,000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}$  a  $11\,000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}$ .

A pesar del resultado que el balance de masa y energía arroja, es necesario considerar que los casos o comportamiento críticos de la planta, en términos de producción, debido a que, de acuerdo lo que

establece la planta, el nivel de producción que la planta ha tenido en el último año, en comparación a años anteriores, presenta un decremento, que para fines de delicadez de la información, se obvia la tasa de decremento de la producción.

Por lo que a pesar de la capacidad de la planta, se ha podido constatar que actualmente llegan hasta un máximo de 3 a 4 días por semana, sin operar la planta debido a que se requiere llegar al tonelaje mínimo (86 400 Toneladas) de nuez de palma para proceder al proceso de producción.

Por lo tanto, se estima que considerando paradas de producción, retrasos en la recepción de la materia prima, e incluso otros fines a nivel económico con que se disponga la biomasa residual, se establezca que solo se contará con el 60% de la biomasa residual estimada, es decir, para fines evaluativos del presente trabajo, la cantidad de biomasa residual con que se espera contar, anualmente es de 6 539 Toneladas al año, lo cual significa que estableciéndolo desde un plano de producción continua , considerando 52 semanas al años y 6 días de producción a la semana, se requerirá aproximadamente 21 Toneladas de biomasa

residual disponibles para abastecer al sistema de cogeneración eléctrica por día.

Por lo tanto evaluando la posibilidad de implementar un sistema de cogeneración eléctrica, para el caso de que se requiera una generación eléctrica de 1 MWe, considerando los siguientes parámetros de operación:

- Eficiencia de conversión ( $\frac{KWe}{KW_{Fuel}}$ ): 25% al 35 %;
- Poder Calorífico de la biomasa residual: 11 000  $\frac{MJ}{Ton}$ ;

A continuación se procede a calcular la cantidad de biomasa residual se requeriría para el presente caso:

- 1) Se determina la tasa de energía de energía de la biomasa en términos de la generación eléctrica esperada.

$$\dot{E}_{fuel} \left( \frac{MJ}{s} \right) = \frac{Pot.elect.(MWe)}{eff.Conversión(\%)} = \frac{1 MWe}{25\%} = 4 \frac{MJ}{s} //$$

- 2) Se determina la cantidad de biomasa residual requerida:

$$\dot{m}_{biomasa} \left( \frac{Ton}{día} \right) = \frac{\dot{E}_{fuel} \left( \frac{MJ}{s} \right)}{PC_{wb}} = \frac{4 \frac{MJ}{s}}{11\,000 \frac{MJ}{Ton}} * \frac{24h \cdot 3600s}{1\, día} = 31.4 \frac{Ton}{día}.$$

Lo que significa, que para una producción energética de 1 MWe, considerando 6 días a la semana, y 52semanas al año, una demanda de aproximadamente 9 797 Toneladas de biomasa residual al año, lo cual representa aproximadamente el 89.9 % de la biomasa residual identificada, de acuerdo a las condiciones actuales de la planta.

Sin embargo considerando el caso más crítico de la planta es decir, que se dispone de aproximadamente 6 539 Toneladas al año, para una generación de 1 MWe, la planta presentaría un déficit de combustible de aproximadamente 3 258 Toneladas al año de biomasa residual, que representaría que la planta para una generación continua de 6 días por semana y 52 semanas al año tendría presentaría un faltante de 10 toneladas de biomasa residual por día.

# CAPÍTULO 5

## 5. TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DE IMPLEMENTACIÓN.

### 5.1 Descripción Técnica de la Tecnología a Implementar.

A continuación, en vista de la información específica que se logró obtener, se detallara la descripción técnica solamente del sistema de producción de vapor – caldero y el sistema de generación eléctricas - Turbinas de vapor.

#### **Descripción técnica del caldero.-**

De acuerdo a las fuentes consultadas, y mediante la experiencia de visitas a plantas que actualmente cogeneran electricidad, se ha podido establecer que para el presente caso el caldero deber presentar las siguientes características:

En base a la capacidad de generación de 1 MWe, deberá poseer parrilla fija, por lo bajos costos, pero deberá ser fluidizada con agua para evitar choques térmicos con la combustión de la biomasa, siempre y cuando la parrilla del hogar sea fija y se la manufacture dentro del país, por otro lado, si el caldero es importado, la parrillada será de tipo móvil, a pesar de que exista mayor pérdidas de combustible, además se requerirá la alimentación del combustible desde la parte superior del hogar, inyectando un flujo de aire de tal manera que dentro del hogar se cree un ciclón para aumentar la eficiencia de combustión de la biomasa, permitiendo que el cuesco se combustiones en suspensión.

Si el caldero es nacional, se establecerá un manteniendo diario del caldero, además después de cada jornada laboral establecer un tiempo para disponer la limpieza de la parrilla del caldero, tiempo aproximado de acuerdo a experiencias consultadas de 1 hora.

Si el caldero fuese importado, el proceso de retiro de las cenizas sería por medio de un tornillo sin fin, cuyo material es de alta resistencia a los choques térmicos, que progresivamente van retirando la ceniza arrastrando parte del material combustible a su paso.

Para ambos casos se establecerá un caldero híbrido, es decir en la zona de baja presión es piro tubular y la zona de alta presión agua

tubular, por medio de los tubos fluirá agua, luego en el domo del caldero se genera vapor sobre calentado, en el sobre calentador, que de acuerdo a aspectos tnicos se aprovechara el calor remanente de los gases de combustión, que se dirigen por la parte superior del caldero.

En términos de producción de vapor, la caldera deberá operar a una presión de trabajo entre 20 y 25 bar, si se desea un sistema de dos calderas, para la generación eléctrica establecida, pralo cual demandaría un consumo de agua entre  $15 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  y  $25 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , llegando a una temperatura de trabajo entre 200C y 350 C aproximadamente, además de acuerdo a las condiciones de operación de la caldera, o se utiliza parte del vapor residual para disminuirle la entalpia y usarlo para el proceso productivo, o del flujo másico producido extraer un pequeno flujo másico de acuerdo a las condiciones de operación de la planta.

### **Características de la biomasa:**

Como combustible se utilizara cuesco de palma, con fibra de cuesco, como del proceso resulta biomasa húmeda, si no se cuenta con un sistema de pre secador se pudo establecer que la biomasa entrara al caldero con un contenido de humedad de aproximadamente 20% al 30% como máximo, con un contenido

energético de aproximadamente  $11\ 000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}$ , lo cual, para una generación de 1 MWe se establece un flujo másico de biomasa de aproximadamente de  $1.3 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  a  $1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , además se espera disponer continuamente de biomasa, para la operación continua de la planta.

### **Descripción de la turbina de vapor:**

Se parte de dos supuestos, el primero considerar dos turbinas acopladas, una de alta presión y la otra de baja presión, mientras que el segundo supuesto es considerar dos turbinas por separado, de acuerdo a la disponibilidad del mercado, pero para el presente caso y de acuerdo a la experiencia consultada, debido a que relativamente en comparación a otras plantas de cogeneración, la generación del planta propuesta es baja en comparación.

Por lo que se considerara un sistema de turbinas que ambas aproximadamente generen 1 MWe, además el tipo de turbina es indispensable, debido a que el vapor residual, se lo utilizara para el proceso productivo, por lo tanto de acuerdo a la disponibilidad del mercado y en base a lo la experiencia en plantas modelos se ha podido cerciorar que las turbinas de tipo contra presión, lo que aumenta la eficiencia en la generación eléctrica, debido a ello se garantiza el menor impacto a los alabes de la turbina a diferencia de

un turbina tipo condensador, por temas de cavitación, por lo tanto una vez expandido el vapor residual parte de ello se re direcciona al proceso productivo, el flujo de vapor requerido.

## **5.2 Análisis detallado de los componentes de la tecnología.**

### **Análisis técnico del caldero, propuesto:**

La alimentación de la biomasa será frontal, e inmersa por medio de un tornillo sin fin, y otro flujo másico de biomasa se ingresara, por medio de un tornillo hasta dejarlo caer a una altura aproximada a la mitad del hogar del caldero.

Por medio de un sistema de tornillo sin fin se retirara la cenizas, por lo que presenta un sistema de parrilla móvil, además el caldero tendrá dos secciones, la de baja presión, el cual es una parte piro tubular fluidizados con agua, llevando el agua a un estado automáticamente de saturación, al entrar a la zona de alta presión se convierte en vapor sobre calentado, este sistema de doble flujo de gases, aprovecha la energía de los gases de salida mientras ascienden a la salida del caldero.

El caldero opera a una presión de trabajo de 25 a 28 bar, produciendo vapor a una tasa de consumo  $27 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  de agua, produciendo vapor a un temperatura de trabajo de

aproximadamente entre 270°C y 320°C, operando con biomasa con un contenido de humedad entre el 30% al 50% como máximo.

Presenta adicionalmente un quemador incorporado para mejorar la eficiencia de combustión, y finalmente un sistema incorporado de retención y depuración de cenizas con el objetivo de disminuir considerablemente el contenido de cenizas en los gases de combustión.

Finalmente presenta un sistema inductor de aire caliente, para así garantizar exista un empuje de los gases de combustión de forma ascendente, el cual consiste en extraer parte de los gases de combustión y retomarlos al hogar de combustión, para más detalles se puede apreciar en los anexos la ficha técnica del caldero proporcionada por el fabricante, a pesar que el caldero es de origen alemán por lo que importarlo representa mayores costos.

### **Análisis técnico del sistema de turbinas de generación eléctrica, propuesto:**

Turbina de contra presión cuya generación eléctrica es aproximadamente 983 KWe, del año 2011, por lo que es repotenciada, lo cual los costos disminuirían, incorporado el panel de control y el sistema de enfriador de aceite, turbina tipo horizontal, cuya demanda de vapor esta en  $10 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , con una presión de entrada

del vapor requerida de 25 bar como máximo, y el vapor se expande en la turbina hasta llegar a una presión de 1.5 bar de presión de salida, de igual manera el vapor entra a la turbina a 350°C aproximadamente, por lo que de acuerdo al caldero detallado en la sección anterior se adapta a las condiciones de operación de la turbina marca SIEMENS.

### **5.3 Requerimientos e impactos de la tecnología.**

Desde el punto de vista ambiental es necesario considerar la composición de cenizas, por lo cual mediante la tabla se detalla el contenido de minerales del cusco de la palma africana, además de la composición química de la formación de cenizas post combustión, para ellos sírvase de utilizar la tabla adjunta para poder establecer el índice de ensuciamiento, para estimar el impacto de la ceniza sobre el equipo.

**TABLA 13:**  
**DETALLE DEL CONTENIDO DE MINERALES, DEL CUESCO DE PALMA**  
**AFRICANA Y COMPOSICIÓN DE MINERALES DE LA CENIZAS POST**  
**COMBUSTIÓN.**

	Cascarilla sin fibra (6)	Cascarilla con fibra (6)	Cascarilla con fibra (2)
<b>Poder calorífico</b>			
Gross calorific value	19.095	17.655	17.844
Net calorific value (kj/kg)	18.225	16.804	13.582
<b>Composición general</b>			
Carbon	53,77	47,07	49,21
Hydrogen	4,29	4,19	5,17
Nitrogen	1,27	1,05	1,05
Oxygen	33,9	28,63	33,51
Sulphur	0,15	0,11	0,11
Ash	2,03	2,57	1,29
Moisture	4,59	16,38	9,66
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Composición de la ceniza</b>			
SO <sub>3</sub>	7,83	2,78	2,78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,81	0,5	0,5
CaO	7,57	0,48	0,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,42	1,98	1,98
K <sub>2</sub> O	20,62	0,58	0,58
Na <sub>2</sub> O	0,3		
SiO <sub>2</sub>	43,67		
Cl	5,99		
(2) Auditoria energética - balances de energía - Riobamba			
(6) Thermal Energy Systems- Feasibility Study to determinate impact of firing Palm Oil Residues 4ago2006. Based on ecuatorian en brazilian laboratory analysis			

Fuente: Información extraído: Estudio realizado por ECOELECTRIC. 2010

### ÍNDICE DE ENSUCIAMIENTO:

El índice de ensuciamiento es el factor que me permite medir la densidad de cenizas que se han alojado dentro del hogar en un intervalo de tiempo dado, esto no es favorable para el caldero debido a que entre mayor tiempo residen las cenizas se corre el riesgo de que comience el proceso de cristalización de las cenizas empujando las paredes del hogar del caldero.

$$DOE = \frac{(\%Na_2O + \%K_2O) \times \%Ash \times 100}{GCV}$$

GCV: Gross Calorific Value

$$TES = \frac{(\%Na_2O + \%K_2O)}{\%SiO_2}$$

Na<sub>2</sub>O : Oxido Sodio  
K<sub>2</sub>O : Oxido Potasio

Por lo tanto reemplazando en las formulas detalladas se puede estimar el índice de ensuciamiento para las cenizas, además de acuerdo a fuentes consultadas para el cuesco de palma el índice de ensuciamiento no debe ser menor a 0.17, por lo que de acuerdo al estudio consultado para el cuesco el índice de ensuciamiento oscila aproximadamente en 0.22, como lo establece la tabla a continuación detallada.

TABLA 14

RANGO PARA EL ÍNDICE DOE Y TES PARA EL CUESCO DE PALMA.

ÍNDICES DE ENSUCIAMIENTO	
PARÁMETRO	CUESCO DE PALMA
DOE (Ensuciamiento) >0.17	0,22
TES (Oxidación) >0.10	047

Fuente: Información extraído: Estudio realizado por ECOELECTRIC. 2010

# CAPÍTULO 6

## **6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA.**

Una vez identificada la propuesta mediante la presente sección se podrá evaluar económicamente si es factible la implementación del sistema de cogeneración eléctrica en la planta piloto establecida, a pesar que se establece que las dos planta operarán por separádo, salvo por el requerimiento del combustible necesario.

A partir de esta sección se establecerán condiciones y comportamientos suponiendo una operación óptima de la planta de cogeneración eléctrica en tiempo real, eso involucra horas de operación, abastecimiento de combustible, y generación eléctrica continua en base a las condiciones actuales de la planta del proceso productivo.

### **6.1 Elementos de la Evaluación Económica.**

Pará la evaluación economía se considera como elemento influyente de interés, los siguientes aspectos:

**Horas de operación al año:** Se considera la disponibilidad de tiempo actual de la planta de extracción para el abastecimiento del combustible requerido, la diferencia que para las horas de operación será en función de la disponibilidad de la planta de cogeneración eléctrica.

**Potencia de generación eléctrica:** De acuerdo a sugerencias y fuentes consultadas, se evaluará el estudio para el caso que la planta presente una cogeneración eléctrica de 1 MWe, en base a varias fuentes tanto por fabricantes como de gerentes de proyectos en la presente tecnología se realizará el detalle económico para dos tipos de inversiones en base a la misma cogeneración eléctrica.

**Costo inicial del proyecto y costos de reparaciones mayores:** Este rubro económico establece estandarizar el costo inicial en base a la generación eléctrica de la planta, además de considerar los costos por reparaciones mayores, las cuales se considerarán en el horizonte de 15 años de vida útil de la planta, para los años 4, 8, 12, y 15; esta consideración técnica, se parte de fuentes técnicas consultadas y especializadas en la presente tecnología<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> A. Barriga – Visita técnica a es;xtractoras

**Salvataje y Tasa de interés anual:** El salvataje es el valor retribuido al final de los 15 años de vida útil, que tendrá la planta como ingreso económico, mientras que la tasa de interés es el factor económico que incrementará los costos influyentes en cada instante del tiempo dentro del horizonte del proyecto, factor que involucra comportamiento económicos como inflación y costos inherentes, por lo cual para el presente estudio se establecerá como tasa de interés el 10% anual.

Los elementos anteriormente detallados pertenecen a los factores principales que intervendrán en establecer el costo inicial del proyecto o inversión necesaria al tiempo cero.

Es necesario considerar, que existen factores económico que influyen en la utilidad neta debido a los ingresos que mantendrá la planta en todo el horizonte del proyecto, estos costos conocidos también como **costos recurrentes**, son aquellos que se consideran anexos a los costos principales del proyecto, más bien influyen directamente en el mantenimiento recurrente de los gastos operativos, técnicos y administrativos de la planta.

Estos son:

- *Costos por la carga laboral operativa y administrativa;*
- *Costos por combustible;*
- *Costos por transporte de combustible;*
- *Seguros de la planta en base a posibles incidentes que altere la gestión productiva.*

Finalmente el valor económico que se tomará como un indicador en la viabilidad del proyecto es el costo de generación eléctrica, debido a que se consideraría una *posible* venta al sistema interconectado nacional de electrificación, por lo cual, el indicador unitario de generación se evaluaría en términos del precio de venta que la entidad pública, compraría la producción eléctrica de la planta<sup>23</sup> (se deja la constancia que en la referencia establecida es emitida en el año 2011), cabe resaltar que de la referencia que se ha considerado para establecer el pago que el estado ecuatoriano realiza a las empresas productoras de electricidad a base de biomasa, para fines específicos se realizará el estudio económico considerando, que el pago por la producción de electricidad es a 90 USD por MW-h generado, por lo tanto en base al precio de venta establecido se

---

<sup>23</sup> REGULACIÓN No. CONELEC - 004/11-EL DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD-CONELEC

evaluará la factibilidad del proyecto, para poder estimar la viabilidad del proyecto en curso.

Establecido los elementos económicos que influyen en los gastos y costos del proyecto, a continuación se detallará los rubros económicos que influyen en los ingresos económicos por la producción de electricidad.

Como ingresos económicos se ha considerado los siguientes elementos:

**Producción de vapor:** Este valor, actualmente es un costo de producción, debido a que la planta consume agua para la generación de vapor para el proceso, por lo cual se considera un ingreso en vista que a partir del arranque de la planta de cogeneración eléctrica, este valor dejará de ser un egreso, y pasará a ser un ingreso, ya que en términos de planta, del vapor residual del proceso de cogeneración eléctrica, se destinará para el proceso de productivo por lo que ya no le costará a la planta producirlo, sino que será un ingreso económico porque dejará de invertir gasto considerado actualmente, a simple vista se presenta la complejidad de concebir este rubro, pero es lo que la planta ya no invertirá, será posterior al proceso un ahorro.

**Autoconsumo de electricidad:** De igual manera, que el caso de la producción de vapor, similar comportamiento será, con respecto al autoconsumo de electricidad, es decir, a partir del arranque de la planta de cogeneración eléctrica, la planta del proceso usará parte de la generación eléctrica para autoconsumo, por lo que pasará de un costo de producción a un ahorro debido a que el valor atribuido actualmente por consumo eléctrico, será equivalente a un ingreso.

**Venta de la energía eléctrica:** De la generación eléctrica estimada, menos la energía eléctrica para autoconsumo, la energía eléctrica residual, se destinará a la venta para el sistema interconectado de electrificación, el cual simplemente se multiplicará la energía disponible por el precio de venta estipulado por el organismo público autorizado, tarifa que oscila aproximadamente en 90 USD por MW-h generado, dicho valor se considera de igual manera como un ingreso económico a la planta.

## **6.2 Análisis de la Viabilidad Económica.**

Para establecer la viabilidad del proyecto se establecerán dos casos, considerando un caso mínimo el cual establece que el costo inicial por la infraestructura y equipos del proyecto es de 1.7 MM USD por cada MWe generado, y considerando el caso máximo un

costo inicial por la infraestructura y equipo del proyecto de 2.2 MM USD por MWe generado.

Se establecen dos casos, en vista que de acuerdo a fuentes consultadas, existen dos posibilidades que el proyecto se lo gestione en gran manera con la compra de equipo importado, siendo el caso máximo debido a que los costos son elevados, y considerando estrategias internas, es decir buscando equipos en buen estado donde se los pueda repotenciar, y en ciertos casos, que la manufactura de equipos específicos sea interna, por lo que los costos serían menores, los casos presentados establecen la misma capacidad de generación eléctrica de 1 MWe.

### **Evaluación Económica: Estimación del Costo Inicial del Proyecto – Caso 1.**

Por lo cual de acuerdo a los factores anteriormente establecidos, mediante la tabla 15 se detalla el costo inicial o la inversión inicial requerida para la gestión del proyecto considerando el caso en que parte del equipamiento del proyecto se lo manufactura dentro del país, estableciendo estrategias comerciales.

**TABLA 15**  
**DETALLE ECONÓMICO DEL COSTO INICIAL DEL PROYECTO-**  
**CASO 1.**

<b>Datos Económicos Considerados:</b>				
Factor Utilización Año	85%			
Horas de Operación - Año	8760 * 85% =7446			
Interés anual:	10%			
Costo Inicial (MMUSD/MW-elect.inst.):	1,7			
Potencia Nominal (MW-elect.)	1			
N(años):	4	8	12	15
Costos Reparaciones (MMUSD)	0,34	0,3	0,3	0,3
Salvataje (MMUSD)				0,5
<b>Expresando los rubros al valor presente:</b>				
Costo Inicial de la Planta (MMUSD):	1,70			
VP-reparaciones (MMUSD)	0,54			
VP-salvataje(MMUSD)	0,12			
<b>VPN (MMUSD)</b>	<b>2,12</b>			
FRC (%VPN)	13,7%			

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

Por lo tanto el costo inicial del proyecto bajo las consideraciones de mano de obra y estrategias comerciales internas, resulta aproximadamente 2.12 MM USD, para un horizonte de 15 años, con costos por reparaciones mayores y la infraestructura y equipamiento *in situ* de 2.24 MM USD, con un valor de salvataje al final del horizonte de tiempo establecido de 0.12 MM USD, por lo tanto identificando los costos directos del proyecto, estableciendo el porcentaje fijado por el FRC del 13,7% se determina la anualidad de

los costos iniciales anualizados, mediante la tabla 16, donde finalmente se determina el costo unitario de generación eléctrica.

**TABLA 16**

**COSTO UNITARIO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA – CASO 1.**

<b>Detalle Aproximado de Costos Anualizados</b>		
Anualidad de Costos Iniciales*	0,29	MMUSD/año
Carga Laboral Operativa	0,05	MMUSD/año
Combustible	0,1	MMUSD/año
Transporte de Biomasa	0,03	MMUSD/año
Seguros (1,3% Costo Inicial)	0,0221	MMUSD/año
<b>Total Anualidad</b>	<b>0,49</b>	<b>MMUSD/año</b>
<b>Detalle - Costo Unitario Por Generación Eléctrica</b>		
Generación Eléctrico Anual	7446	MW-h/año
Costo Unitario - Generación Eléctrica	65,56	USD/MW-h
<b>Costo Unitario - Generación Eléctrica</b>	<b>0,0656</b>	<b>USD/KW-h</b>
*Anualización de todos los costos iniciales: Maquinaria; Infraestructura; Gravámenes de Importación; Seguros; Impuestos; Estudios de Factibilidad del Proyecto; Puesta en Operación; Valor Presente de Reparaciones Mayores.		

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

Anualizando los costos recurrentes, en base a fuentes consultadas, se estima que el seguro para una planta de cogeneración eléctrica es aproximadamente el 1,3% del costo inicial de la planta.

Por lo tanto de acuerdo a la tabla, el costo unitario de generación eléctrica es aproximadamente 65.56 USD/MW-h generado, comparándolo con los 90 USD/MW-h comprado, a primera instancia se puede establecer que si existe potencialmente la factibilidad

económica del proyecto, considerando que la planta anualmente operaría el 85% del año, generando 1 MWe, produciendo así aproximadamente 7446 MW-h al año, disponiendo de acuerdo a lo que se determinó en la sección 4 del presente trabajo, un requerimiento de biomasa residual de aproximadamente 10 000 Toneladas al año, con un costo de transporte de 3 USD por tonelada, que es lo que costaría transportar la biomasa, siendo de todas maneras un centro de beneficio de cuesco de palma africana. Es necesario establecer que la carga laboral identificada, que consta de 3 personas, 1 en la parte administrativa, y 2 en la parte de campo siendo una de ámbito técnico, con un salario de aproximadamente 1 000 USD por mes para el personal administrativo y 800 USD por mes para el personal de planta.

#### **Evaluación económica: Estimación del costos inicia del proyecto – Caso 2.**

Para el presente caso se considera, que los equipos en su mayoría son importados, por lo que los costos aumentarían, eso involucra e incluso gastos varios de los técnicos de los equipos hasta la entrega final de la planta para la operación por gestión propia, para lo cual mediante la tabla 17 se detalla el costo inicial o la inversión en el tiempo cero para el proyecto.

**TABLA 17**  
**COSTO UNITARIO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA – CASO 2.**

<b>Datos Económicos Considerados:</b>				
Factor Utilización Año	85%			
Horas de Operación - Año	8760 * 85% = 7446			
Interés anual:	10%			
Costo Inicial (MMUSD/MW-elect.inst.):	2,2			
Potencia Nominal (MW-elect.)	1			
N(años):	4	8	12	15
Costos Reparaciones (MMUSD)	0,44	0,3	0,3	0,3
Salvataje (MMUSD)				0,6
<b>Expresando los rubros al valor presente:</b>				
Costo Inicial de la Planta (MMUSD):	2,20			
VP-reparaciones (MMUSD)	0,608			
VP-salvataje(MMUSD)	0,14			
VPN (MMUSD)	2,66			
FRC (%VPN)	13,7%			

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

El costo inicial del proyecto bajo las consideraciones de importación de equipos en su gran mayoría, resulta aproximadamente 2.66 MM USD, para un horizonte de 15 años, con costos por reparaciones mayores y la infraestructura y equipamiento *in situ* de 2.81 MM USD, con un valor de salvataje al final del horizonte de tiempo establecido de 0.14 MM USD, por lo que identificando los costos directos del proyecto, estableciendo el porcentaje fijado por el FRC del 13,7% se determina la anualidad de los costos iniciales

anualizados, mediante la tabla 18, donde finalmente se determina el costo unitario de generación eléctrica para el caso propuesto.

**TABLA 18**  
**COSTO UNITARIO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA – CASO 1.**

<b>Detalle Aproximado de Costos Anualizados</b>		
Anualidad de Costos Iniciales*	0,37	MMUSD/año
Carga Laboral Operativa	0,05	MMUSD/año
Combustible	0,1	MMUSD/año
Transporte de Biomasa	0,03	MMUSD/año
Seguros (1,3% Costo Inicial)	0,0286	MMUSD/año
<b>Total Anualidad</b>	<b>0,57</b>	<b>MMUSD/año</b>
<b>Detalle - Costo Unitario Por Generación Eléctrica</b>		
Generación Eléctrico Anual	7446	MW-h/año
Costo Unitario - Generación Eléctrica	76,44	USD/MW-h
<b>Costo Unitario - Generación Eléctrica</b>	<b>0,0764</b>	<b>USD/KW-h</b>
*Anualización de todos los costos iniciales: Maquinaria; Infraestructura; Gravámenes de Importación; Seguros; Impuestos; Estudios de Factibilidad del Proyecto; Puesta en Operación; Valor Presente de Reparaciones Mayores.		

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

Anualizados los costos recurrentes, de igual manera las mismas consideraciones que en el caso 1 mostrado anteriormente, con respecto al valor recurrente atribuido al seguro del proyecto, por lo tanto de acuerdo a la tabla 16, el costo unitario de generación eléctrica es aproximadamente 76.44 USD/MW-h generado, comparándolo con los 90 USD/MW-h comprado, se puede

establecer que si existe potencialmente la factibilidad económica del proyecto, considerando que la planta anualmente operaría el 85% bajo las mismas consideraciones que en el caso 1 con respecto a los costos recurrentes.

### **Evaluación de los ingresos económicos de la planta.**

Como se estableció en la sección anterior, se considera como ingresos económicos aquellos rubros que a partir de la operación objetivo de la planta de cogeneración, se dejará de establecerse el gasto pertinente, por lo que la planta de generación eléctrica dará ese beneficio en términos de calor por el vapor residual y en términos energéticos por abastecer del autoconsumo eléctrico.

Mediante la tabla 19 podrá denotarse el cálculo económico detallado para determinar el costo actual estimado, que la planta destina para la producción de vapor para el proceso productivo, mientras que en la tabla 20 muestra el detalle del consumo y demanda de electricidad estimado del año de acuerdo a la facturación establecida a la planta, con la finalidad de estimar aproximadamente el pago mensual, por consumo eléctrico e identificar el consumo eléctrico de la planta para identificar la anualidad atribuida al costo indirecto de producción, y así estimar el

ingreso que la planta dejará de destinar a partir de la operación continua de la planta de generación eléctrica.

**TABLA 19**  
**DETALLE ECONÓMICO DEL INGRESO ATRIBUIDO POR EL**  
**COSTO DE PRODUCCIÓN DE VAPOR.**

<b>Costo de Producción de Vapor.</b>				
Horas de Operación - Año	24 h/día * 4días/semana * 52 semanas/año = 4992 horas /año			
Interés anual:	10%			
Costo Inicial (MMUSD):	0,35			
Producción Vapor (Ton/h)	0,58			
N(años):	4	8	12	15
Costos Reparaciones (MMUSD)	0,03	0,03	0,03	0,03
Salvataje (MMUSD)	0,15			
<b><i>Expresando los rubros al valor presente:</i></b>				
Costo Inicial Sistema de Generación de Vapor (MMUSD):	0,35			
VP-reparaciones (MMUSD)	0,05			
VP-salvataje(MMUSD)	0,04			
<b>VPN (MMUSD)</b>	<b>0,37</b>			
FRC (%VPN)	13,7%			
<b>Detalle Aproximado de Costos Iniciales Anuales</b>				
Anualidad de Costos Iniciales*	0,05	MMUSD/año		
Carga Laboral Operativa	0,03	MMUSD/año		
Transporte de Biomasa	0,002	MMUSD/año		
Seguros	0,005	MMUSD/año		
<b>Total Anualidad</b>	<b>0,08</b>	<b>MMUSD/año</b>		
<b>Detalle - Costo Unitario Por Producción de Vapor</b>				
Producción Vapor Anual	2895,36	Ton/año		
Costo Unitario - Producción de Vapor	29,25	USD/TonVapor		
*Anualización de todos los costos iniciales: Maquinaria; Infraestructura; Gravámenes de Importación; Seguros; Impuestos; Estudios de Factibilidad del Proyecto; Puesta en Operación; Valor Presente de Reparaciones Mayores.				

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

Aproximadamente 84 689 USD, la planta le cuesta producir el vapor para el proceso productivo, considerando un costo inicial del caldero estimado en 350 000 USD, cabe resaltar que los costos mencionados en la tabla, mantienen cierto diferencia con respecto a los costos reales debido a la información interna de la planta, de igual manera se estiman los costos por reparaciones mayores, además se considera que el caldero operaría de acuerdo a las condiciones actuales, ya que los proceso de cada planta solo trabajaría en paralelo cuando exista la necesidad de procesamiento de nuez para la extracción de aceite de palmiste, por lo cual se establece que al año el caldero operaría aproximadamente 4992 horas, en condiciones como ha venido operando en el año en curso.

**TABLA 20**

**DETALLE DEL CONSUMO Y DEMANDA DE ELECTRICIDAD ANUAL  
PARÁ LA PLANTA DEL PROCESO PRODUCTIVO.**

Año	MES	Consumo (KW-h) de Electricidad	Demanda (KWe) de Electricidad	Costos Por Consumo/Demanda de Electricidad	Costos Varios (Alumbrado; Recaudación Terceros)	Pago Total
		De Acuerdo a la Factura:	De Acuerdo a la Factura:	Estimado	Estimado	Estimado
2013	Octubre	60000	352	6136	760	6896
2013	Noviembre	78000	352	7396	760	8156
2013	Diciembre	81000	354	7617	760	8377
2014	Enero	103000	354	9157	760	9917
2014	Febrero	79000	354	7477	760	8237

2014	Marzo	79000	354	7477	760	8237
2014	Abril	81000	354	7617	760	8377
2014	Mayo	105000	354	9297	760	10057
2014	Junio	61000	354	6217	760	6977
2014	Julio	81000	354	7617	760	8377
2014	Agosto	57000	354	5937	760	6697
2014	Septiembre	49000	354	5377	760	6137
Año		914 000	354	<b>Anualidad Estimada (USD):</b>		<b>96 442</b>

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

Estableciendo de acuerdo al histórico mostrado en la planilla de facturación eléctrica, se estima que el costo por el consumo y demanda de electricidad, del año en curso es aproximadamente 96 442 USD, que corresponde para un consumo eléctrico anual aproximado de 914 MW-h, identificado los valor de consumo eléctrico y costo indirecto de producción, se procede a establecer el total de ingresos económico, faltando por identificar la disponibilidad residual de generación para la venta al sistema interconectado.

**Cálculo de la TIR (%), para determinar la rentabilidad del proyecto para cada caso a considerar.**

La TIR(%), siendo en términos económicos la tasa interna de retorno, es decir el porcentaje de la inversión que retorna en un periodo de tiempo, el cual lo fija el horizonte del tiempo para el cual se considera el proyecto, pero la característica principal es determinar la mínima tasa a la cual retorna la inversión, y esto se da

cuando el VAN (valor neto actual) es igual cero, donde el interés o la TIR que se determina, permiten que la inversión inicial sea igual al flujo neto de efectivo, por lo cual para el cálculo de la TIR se procede de la siguiente manera:

$$VAN_{TIR} = -I_0 + \overline{FNE} \left[ \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} \right] = 0$$

Dónde:

$VAN_{TIR}$ : Es el valor neto actual igual a cero para determinar la TIR específica.

$I_0$ : Inversión inicial del proyecto, sin considerar los gastos económicos recurrentes.

$\overline{FNE}$ : Es el flujo neto de efectivo, el cual se determina de la diferencia de los ingresos anuales menos los gastos anuales recurrentes.

$i$ : El interés que permite igual la inversión inicial versus el flujo neto de efectivo, conocido también como la TIR.

A continuación se detallará el cálculo de la TIR (%) para el primer caso (Costo inicial 1.7 MMUSD/MWe.), para ello se requiere determinar el costo inicial del proyecto o la inversión inicial, por lo

cual mediante la tabla 21 se detalla el costo inicial del proyecto para el primer caso.

**TABLA 21**  
**DETALLE DE LA INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO PARA EL**  
**PRIMER CASO A CONSIDERAR.**

<b>Costos Proyecto</b>		
<b>Costo Inicial (MMUSD/MW-elect.inst.):</b>	<b>1,7</b>	
<b>Detalle - Costo Unitario Por Generación Eléctrica</b>		
Costo Inicial de la Planta (MMUSD):	1,70	MW-h/año
VP-reparaciones (MMUSD)	0,54	USD/MW-h
VP-salvataje(MMUSD)	0,12	USD/KW-h
<b>VPN (MMUSD)</b>	<b>2,12</b>	<b>MMUSD</b>
<b>Inversión Inicial:</b>	<b>2,12</b>	<b>MMUSD</b>

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

Con una inversión inicial de 2.12 MM USD, se procede a determinar mediante la tabla 22 los ingresos anuales identificados, para posterior a ellos determinar el flujo neto de efectivo en función de los gastos recurrentes anuales.

**TABLA: 22**  
**DETALLE DEL FLUJO NETO DE EFECTIVO PARA EL PRIMER CASO.**

<b>Ingresos Estimados</b>		
Auto - Consumo Eléctrico - Año	914	MW-h
Generación Eléctrica - Año	7446	MW-h
Disponibilidad Para Exportar	6532	MW-h
Precio unitario - Venta	90	USD/MW-h
<b>Ingreso Estimado</b>	<b>0,588</b>	<b>MMUSD</b>

<b>Detalle - Costo Unitario Por Producción de Vapor</b>		
Producción Vapor Anual	2895,360	Ton/año
Costo Unitario - Producción de Vapor	29,252	USD/TonVapor
<b>Costo Producción - Vapor</b>	<b>0,085</b>	<b>MMUSD/año</b>
<b>Pago Por Consumo/Demanda de Electricidad</b>		
<b>Anualidad Estimada:</b>	<b>0,096</b>	<b>MMUSD/año</b>
<b>Total Ingresos Anuales</b>	<b>0,769</b>	<b>MMUSD</b>

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

Por lo tanto con unos ingreso anuales aproximadamente 0.769 MM USD, utilizando la ecuación de la  $VAN_{TIR} = 0$ , se procede a determinar la TIR, por inferencia indirecta, es decir estimar la TIR, iterando para varios casos hasta que la igualdad de la ecuación resulte igual o muy próxima a cero, por lo tanto mediante la Tabla 23, se establece la inversión inicial del proyecto y el flujo neto de efectivo en términos de los gastos recurrentes.

**TABLA 23**

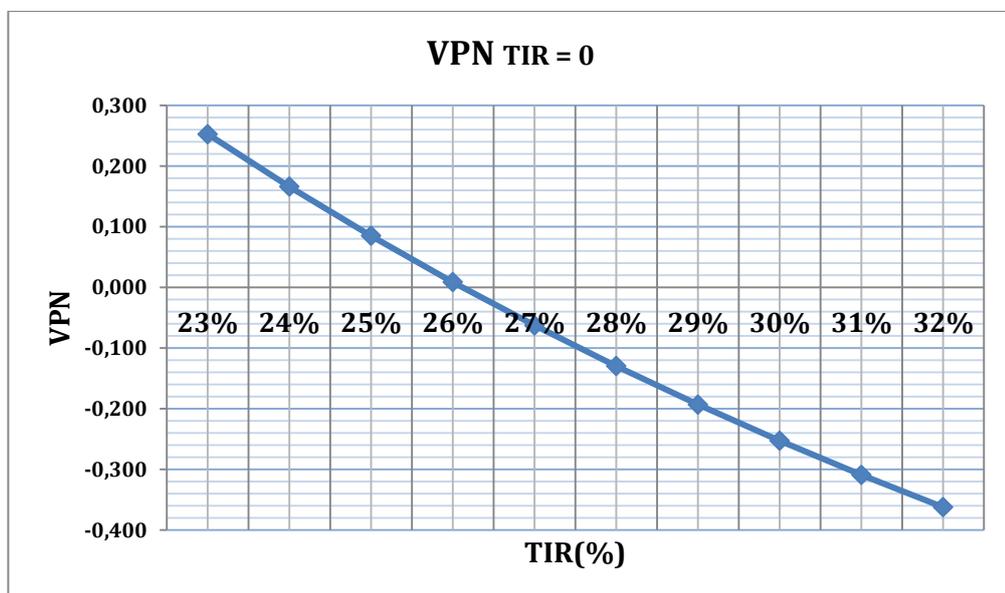
**CÁLCULO DE LA TIR PARÁ EL PRIMER CASO ESTABLECIDO.**

<b>Cálculo de la TIR</b>		
Io:	2,12	MMUSD
FNj	0,571	MMUSD/año
<b>Tabulación de Datos:</b>		
n(años)	TIR (%)	VPN
15	23%	0,253
15	24%	0,166
15	25%	0,085

15	26%	0,009
15	27%	-0,063
15	28%	-0,130
15	29%	-0,193
15	30%	-0,253
15	31%	-0,309
15	32%	-0,362

Fuente: Frank Aroca R. – Tabulación de datos. 2014.

Con un flujo neto de efectivo aproximado de 0.57 MM USD anual, se determina que la TIR para el presente caso oscila entre el 26% y el 27%, para lo cual mediante la figura 5.1, se ilustra el comportamiento de la TIR en términos de la igualdad de la ecuación.



**FIGURA 5.1 GRÁFICO CÁLCULO DE LA TIR (%) PARÁ EL PRIMER CASO.**

Finalmente, de acuerdo a la gráfica mostrada para el presente caso, establece una tasa interna de retorno de aproximadamente TIR: 26.2%, para lo cual se evidencia que existe suficiente evidencia económica para establecer una viabilidad económica para el proyecto propuesta a pesar de la alta inversión inicial que se requiere, se considera aceptable la condiciones técnicas y económicas, debido a que la tasa de interés es menor que la TIR, eso quiere decir que es mayor el porcentaje económico que retorna sobre la inversión versus el porcentaje que se destina como gasto debido al interés anual que demanda el proyecto. Lo particular del presente caso es que interpolando ahora para varios años, se determina que el proyecto a partir de 10mo año la TIR parte aproximadamente con el 23.7%.

A continuación se detallará el cálculo de la TIR (%) para el segundo caso (Costo inicial 2.2 MMUSD/MWe.), para ello se requiere determinar el costo inicial del proyecto o la inversión inicial, por lo cual mediante la tabla 24 se detalla el costo inicial del proyecto para el segundo caso.

**TABLA 24**  
**DETALLE DEL COSTO INICIAL DEL PROYECTO**

<b>Costos Proyecto</b>		
<b>Costo Inicial (MMUSD/MW-elect.inst.):</b>	<b>2,2</b>	
<b>Detalle - Costo Unitario Por Generación Eléctrica</b>		
Costo Inicial de la Planta (MMUSD):	2,20	MW-h/año
VP-reparaciones (MMUSD)	0,61	USD/MW-h
VP-salvataje(MMUSD)	0,14	USD/KW-h
VPN (MMUSD)	2,66	MMUSD
<b>Inversión Inicial:</b>		
	<b>2,66</b>	<b>MMUSD</b>

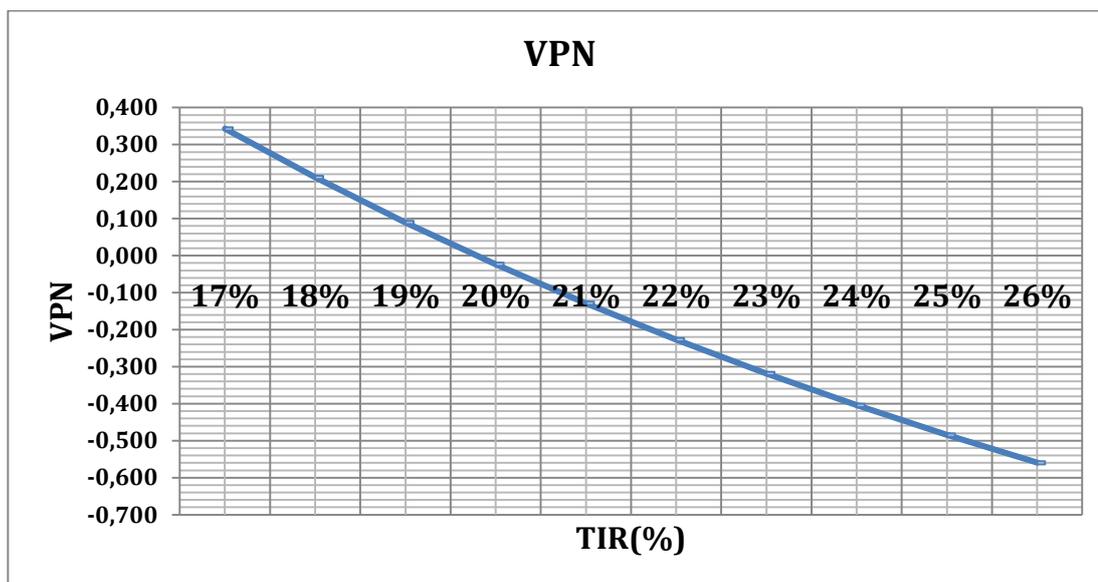
Con una inversión inicial de 2.66 MM USD, y considerando los mismos ingresos anuales que el primer caso (ver tabla), se determina el flujo neto de efectivo en términos de los gastos recurrentes, el cual será diferente al mostrado anteriormente.

Por lo tanto mediante la tabla 25 se procede a calcular la TIR para el presente caso, iterando para varios casos posibles, hasta determinar un cambio en de sección o de signo, el cual permita que ecuación de la  $VAN_{TIR} = 0$ .

**TABLA 25**  
**CÁLCULO DE LA TIR**

Cálculo de la TIR		
Io:	2,66	MMUSD
FNj	0,565	MMUSD/año
Tabulación de Datos:		
n(años)	TIR (%)	VPN
15	17%	0,343
15	18%	0,212
15	19%	0,090
15	20%	-0,023
15	21%	-0,129
15	22%	-0,227
15	23%	-0,319
15	24%	-0,404
15	25%	-0,484
15	26%	-0,560

Con un flujo neto de efectivo aproximado de 0.565 MM USD anual, se determina que la TIR para el presente caso oscila entre el 19% y el 20%, para lo cual mediante la figura 5.2, se ilustra el comportamiento de la TIR en términos de la igualdad de la ecuación.



**FIGURA 5.2 CÁLCULO DE LA TIR (%) PARÁ EL SEGUNDO CASO.**

Finalmente, de acuerdo a la gráfica mostrada para el presente caso, se establece una tasa interna de retorno de aproximadamente TIR: 19.8 %, para lo cual se evidencia que existe suficiente evidencia económica para establecer una viabilidad económica para el proyecto propuesta a pesar de la alta inversión inicial que se requiere debido a los costos por importación de los equipos, por lo que se considera aceptable la condiciones técnicas y económicas, debido a que la tasa de interés es menor que la TIR, presenta un comportamiento similar al primer caso, la diferencia, se evidencia que a menor sea el flujo neto, menor será la tasa interna de retorno para el horizonte de tiempo dado. Lo particular del presente caso al

igual que el primero, se interpola la ecuación para varios años, y se determina que el proyecto a partir de 11vo año la TIR parte aproximadamente con el 17.7%, de acuerdo a las condiciones que rigen los costos del presente caso.

# CAPÍTULO 7

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Resultados Obtenidos.

Para las condiciones actuales de operación, la planta presenta un consumo de agua aproximado de  $2.2 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ , correspondiendo  $0.58 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  de agua para el sistema de producción de vapor, a pesar que existe perdido en el consumo de agua, se determina que la planta consumo aproximadamente  $0.08 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  que equivalen al agua de reposición.

De igual manera el consumo de biomasa residual seca (MC:<15%) es de  $3 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$ , el cual representa una mezcla de 80% de cuesco de nuez y el 20% de fibra.

De acuerdo al análisis de sensibilidad determinado en la sección 4, se puede establecer que la temperatura de los gases de combustión a la salida del caldero es de 153°C, y presenta actualmente una eficiencia del caldero del 75%.

Valorando la disponibilidad de la biomasa residual para destinar al proceso de cogeneración eléctrica, resulta del proceso actual una producción de 52 393 Kilogramos de biomasa residual al día equivalente a decir que para un comportamiento actual de 4 días de operación a la semana y 52 semanas al año se dispondría de 10 878 toneladas de biomasa, viéndolo como un mezcla homogénea (consta de cuesco húmedo y cuesco seco), con un contenido de humedad aproximado del 20% al 25% y un contenido energético entre  $11\,000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}$  a  $12\,000 \frac{\text{MJ}}{\text{Ton}}$ .

Desde el punto de vista eléctrico la planta presenta una capacidad eléctrica instalada de 614 KWe aproximadamente siendo los mayores consumidores eléctricos el sistema de hidrociclones, por lo motores de alta potencia para las bombas, los secadores y el sistema de prensa y extracción de aceite de palmiste, de acuerdo a la facturación la planta presenta una demanda eléctrica continua de 354 KWe.

En temas económicos, para los dos casos en el análisis, considerado siendo el costo inicial del proyecto de 1.7 MMUSD por MWe instalado, se obtiene que en un horizonte de 15 años la TIR resulta aproximadamente el 26.2%, mientras que para el segundo caso en que el costo inicial del proyecto es de 2.2 MMUSD por MWe instalado la TIR resulta el 19.8%.

## **7.2 Análisis de los Resultados.**

Para establecer técnicamente el consumo de agua para el caldero, fue necesario estimar un flujo másico y calcular el real, en términos de la tasa energética del agua de alimentación, que a su vez influye en la tasa de energía del condensado y el agua de reposición, y principalmente el consumo de agua está regido por la tasa de energía de los gases de combustión, lo cual se debía de determinar o iterar la temperatura de salida de los gases en términos de la eficiencia del caldero para identificar el consumo de agua del caldero.

Es necesario establecer estratégicamente una disponibilidad mínima de biomasa residual, para el sistema de cogeneración eléctrico, ya que en base a la información obtenida por la plan, no

sea mantenido un ritmo de producción robusto, debido a los bajos pedidos y bajos precios que se da en la industria aceitera, por lo cual se considera que realmente se podrá contar con el 60% de la producción actual de la biomasa residual para destinarla a la planta de cogeneración eléctrica.

Para el análisis económico se ha considerado dos escenarios, en base a las conversaciones que se ha mantenido con fabricantes y gerentes de planta, muestran que en Ecuador la posibilidad de establecer una central de generación eléctrica, puede darse con la compra de equipos importados o repotenciando equipo estén fuera de uso en ciertas empresas, por lo cual se determina la TIR para cada caso a considerar, siempre y cuando exista un ingreso económico debido a la actividad directa de la planta de generación eléctrica, identificando además los costos recurrentes que no deberán ser considerado en la inversión inicial del proyecto sino en el flujo neto de efectivo, y así establecer la viabilidad del proyecto.

### **7.3 Limitaciones de Aplicabilidad de Resultados.**

Los resultados que se han obtenido, están limitados, principalmente porque no se ha llegado hasta el momento establecer estrategias entre el gremio palmicultora para poder incursionar en el

aprovechamiento de la biomasa residual con una finalidad energética.

Otra de las limitaciones en la aplicabilidad del presente estudio, es que al no existir el interés conjunto, y la participación de inversionistas, han surgido nuevas vías que permiten establecer otro fin económico para el cuesco de la nuez, es decir, al preferir vender el cuesco para fines en cosmetología, e incluso en el desarrollo de carbón activado, se limita el interés en invertir una central de cogeneración eléctrica, y se puede corroborar lo mencionado debido a que en la actualidad existen plantas de cogeneración eléctrica, satisfaciendo su consumo, y exportando al sistema interconectado.

Por lo cual las limitaciones del estudio no están regidas desde el punto de vista técnico, sino desde el plano humano, más cuando entre el gremio palmicultora presenta recelo emprender una inversión compartida con el estado para cogenerar energía eléctrica, debido a que no existen nexos comunicativos entre la empresa pública y privada, estableciendo vías en temas de eficiencia y desempeño energético, con la finalidad de que como

ciertas empresa participen en el cambio de la matriz energética del país.

Desde el punto de vista técnico se puede considerar una limitación, el requerimiento de combustible es decir disponer continuamente de la biomasa, para lo cual, se deberán establecer nexos corporativos para fijar la aportación del combustible, retribuyendo así mismo con un beneficio en la generación eléctrica de la planta y satisfacer su demanda.

Es necesario tener en cuenta que a pesar que en la sección 5 solo se detallaron técnicamente el sistema de vapor y el sistema de generación eléctrica, no significa que exista variación en el análisis económico, debido a que se ha considerado costos estandarizados, y ajustados a la disponibilidad técnica que existe en el país, para lo cual los equipos mencionados, son los principales en toda la planta de cogeneración eléctrica.

# CAPÍTULO 8

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 8.1 Conclusiones.

En base al nivel de procesamiento de la nuez, el 16.4% representa la producción de aceite de palmiste, mientras que el 18.3% representa la producción de la torta de palmiste, y solamente el 1.2% representa los lodos del proceso, ariche y residuos de aceite que se dispone para la industria alimenticia, y finalmente el 64.11% representa la producción de cuesco de nuez.

En temas operativos de la planta se determina que el consumo real es de aproximadamente  $2.3 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  de agua para el proceso productivo, que corresponden al  $0.58 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  para la producción de vapor,  $1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  que demandan los hidrociclones y  $0.08 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  que se consume por agua de reposición.

De acuerdo a las consideraciones de en la factura eléctrica, la planta solo consume aproximadamente el 57,6% de la capacidad eléctrica instalada.

En base a consideraciones de planta en temas de paradas e imprevistos de producción solo se contara con el 60% de la producción de biomasa, lo que quiere decir que se dispone para el sistema de cogeneración con 6 527 toneladas al año, sin embargo considerando una generación eléctrica de 1MWe a operación continua se requiere 9 797 Toneladas de biomasa al año.

Por lo cual para una generación continua de 1 MWe, se requiere 9 797 Toneladas al año de biomasa, para lo cual la planta actualmente estaría en déficit con 3 258 toneladas al año, es equivalente a decir que existe un faltante de 10 toneladas de biomasa al día, para garantizar una producción eléctrica continua, por lo que la planta deberá establecer convenios entre planta extractoras para garantiza el faltante, por lo que se propone un radio de 5 kilómetros a la redonda, y así el costo de transporte no sea alto, partiendo de la analogía en el detalle económico de un costo de transporte de biomasa aproximado de 3 USD por tonelada.

De acuerdo al análisis económico, resulta que en base a las consideraciones tomadas, existe la información y la evidencia para establecer que existe la viabilidad económica del proyecto considerando lo siguiente:

El costo unitario de generación para ambos casos (Caso1: 65.56 USD/MW-h y Caso 2: 76.44 USD/MW-h), es inferior a los 90 USD /MW-h que el estado paga a los productos de energía eléctrica, por lo cual desde ya se parte que existe un ingreso atribuido aproximado de 14 a 25 USD por MW-h generado.

Finalmente partiendo que de acuerdo al caso 1, ya partir del 10mo año el proyecto se recobra a un tasa del 23.7%, pero a los 15 años la inversión retorna a una tasa del 26.2%, por lo que la TIR al ser mayor a la tasa de interés puede existir evidentemente una viabilidad económica del proyecto, mientras que el caso 2 a partir del 11vo año la inversión retorna a una tasa del 17.7%, y a los 15 años se recupera la inversión a una tasa del 19.8%, de igual manera se evidencia que existe suficiente información para establecer una viabilidad económica del proyecto para la planta piloto de cogeneración eléctrica, considerando 1 MWe de generación.

## **8.2 Recomendaciones.**

Es importantes extender el presente estudio, hasta poder evaluar la adaptación socio cultural en la industria aceitería, para así poder fortalecer las convicciones de ciertas plantas extractoras de aceite, en incursionar en nuevas vías en el desempeño energético de las plantas, aun mas cuando el país está en camino a un cambio en su régimen eléctrico, lo que conlleva a elevar los costos indirectos de producción.

Se recomienda socializar el presente trabajo, para establecer cadenas de financiamiento con agencias públicas, demostrando la viabilidad técnica y económica del proyecto a toda planta extractora que se ajusta a las condiciones operativas establecida en el presente trabajo.

En temas de la planta, es necesario establecer medidas que prevengan el sobre consumo de agua en el proceso, especialmente en los hidrociclones, en vista para una operación continua de 24 horas al día, y 4 días a la semana, con un costo de aproximadamente 0.5 USD por metro cubico consumido, solamente el sistema de hidrociclones demanda un costo de aproximadamente 300 USD por mes.

Al ser una planta de consumo, es necesario aplicar metodologías de mejoramiento en gestión de consumo de insumos y recurso energéticos de la empresa.

De igual manera es importante que como punto de partida, el presente trabajo permita establecer la viabilidad económica, si destinar la biomasa residual para otros fines que no sean en el ámbito de aprovechamiento energético, sea rentable de acuerdo a los precios que el mercado destina en la compra de cuesco, por lo tanto se recomienda llevar el presente estudio hasta un punto en que se muestre el beneficio de vender energía eléctrica y no destinar el combustible para fines menos rentables.

**ANEXOS**



## ANEXO B.- FICHA DE REGISTRO DE PRODUCCIÓN.

INVENTARIO DE ALMENDRAS					
FECHA: 18/09/2011	DIA: Jueves	HORAS TRABAJADAS: 24:00	x 3.600 KG		
IMPUREZA DE NUEZ: 3.04 %	NUECES ROTAS 86.400 KG	43.781			
HUMEDAD DE NUEZ: 10.42 %	ACIDEZ DEL DIA = 7.34 %				
HUMEDAD DE ALMENDRA: 1.91 %	HUMEDAD = 0.08 %				

SILOS ALMENDRA SECA			SILOS ALMENDRA HUMEDA			SILO DE BACHEO
MEDIDAS			MEDIDAS			
49	576	16 = 96	103	583	16 = 97	156 CM
14	96	- 660 = 564	55	97	- 640 = 547	0.788 KG
149	564	x36/660 = 30.764	107	543	x24/640 = 20.356	
120		30.764 KG	120		20.356 KG	
105			83			
234			115			
TOTAL ALMENDRA: 51.858 KG						
N. BACHEOS: —			ALM. PROCESADA: 29.357 KG			

EXTRACCION DE ALMENDRA					
INV. FINAL	ALM. TRANSF.	INV. ANTERIOR	ALM. PRODUCIDA	CAN	
51.858 KG	29.357 KG	51.622 KG	29.543 KG	34.25 %	

INVENTARIO DE ACEITE					
GEM. 1:	148 CM	1.624.840 KG	EXTRACCION		
GEM. 2:	83 CM	0.79.1800 KG	ACEITE GRUPO "A" = 7.37.814	KG ACEITE = 46.90 %	
TQ. PULMON:	— CM	— KG	ACEITE GRUPO "B" = 6.38.952	KG TORTA = 51.73 %	
TOTAL:	2.29.764	2.47664 KG	TOTAL: A + B = 13.76.766	KG TOTAL = 98.62 %	
TQ. ALMACENAJE ANTERIOR:	21.455.996	KG		MERMA = 1.38 %	
TRANSF. ACEITE: Q "A"	6.26136	KG	Q "B" = 6.26136	KG	T. TRANSF. = 12.52272 KG
DESPACHO ACEITE		KG	ACEITE TOTAL		ACEITE FINAL
			33.978716	KG	36.395356

INVENTARIO TORTA			
TORTA DEL DIA	TORTA DESPACHADA	TORTA DIA ANTERIOR	TORTA PRODUCIDA
34.838 KG	0.920 KG	19.973 KG	15.185 KG

# ANEXO C.- ENTREVISTA CON PROVEEDOR DE TURBINAS

## SIEMENS.

AW: Ticket Nr./No.: 1-662914: **Siemens** Energy Contact Form: General Contact: System No: ISSUE=662914 PROJ=1

← RESPONDER ← RESPONDER A TO



Weismann, Frederik (PG SU S PDT 3) <frederik.weismann@siemens.com>

mié 15/10/2014 7:35

Inbox

Para: **Frank Emilio Aroca Ramos**;

Respondiste el 15/10/2014 22:47.

Hello Frank,

there are thousands ways to generate 1MW. One example is attached.  
The price for the equipment below is about 900.000€ + condenser + service + civil works

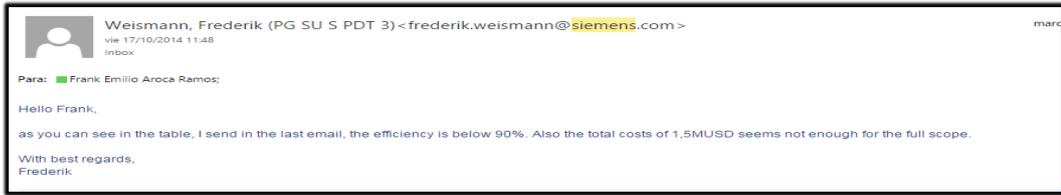
Regards  
Frederik Weismann

### Operating points SST-110 (former TWIN CA36) for driving a: Generator

	1	2
	10t	7t
<b>Turbine part A</b>		
Inlet pressure	40.00 bar(a)	40.00 bar(a)
Inlet temperature	370 °C	370 °C
Exhaust temperature	171 °C	174 °C
Enthalpy	2,804 kJ/kg	2,810 kJ/kg
Turbine speed	16,364 rpm	16,364 rpm
Mass flow	10,000 kg/h	7,100 kg/h
<b>Turbine part B</b>		
Inlet pressure	2.90 bar(a)	2.90 bar(a)
Inlet temperature	370 °C	370 °C
Exhaust pressure	0.10 bar(a)	0.10 bar(a)
Exhaust temperature	146 °C	123 °C
Enthalpy	2,774 kJ/kg	2,730 kJ/kg
Turbine speed	11,250 rpm	11,250 rpm
Mass flow	3,000 kg/h	6,200 kg/h
<b>Performance</b>		
Outlet speed	1,500 rpm	1,500 rpm
Output at coupling	1,243 kW	1,422 kW
Power at terminals	1,185 kW	1,350 kW

With best regards,  
Frederik Weismann

**Siemens** Turbomachinery Equipment GmbH  
PG SU S PDT 3  
Hessheimer Str. 2  
67227 Frankenthal (Pfalz), Germany  
Tel.: +49 6233 85-2497  
Fax: +49 6233 85-2660  
Mobile: +49 174 3438185  
<mailto:frederik.weismann@siemens.com>



## ANEXO D.- CATALOGO DE TURBINAS DISPONIBLES EN BASE AL REQUERIMIENTO ELÉCTRICO.

Proveedor 1)

**Standby turbine with quick-start capability for up to 750 kW**

This turbines are single-stage back-pressure steam turbines in which the flow passes axially through the blading. The impeller, nozzle system and shaft gland seal are easy to reach. Similarly, all transmission components are readily accessible for maintenance.

This steam turbines come with a torsion bar speed governor as standard. Other governor systems can also be connected. A bolt-type trip device protects the turbine against overspeeds.

All pressure-loaded parts are extensively tested, and each turbine is subjected to a trial run before delivery.

SST-050 (AF) turbines are used e.g. as a power source for pumps or fans.

**SST-050  
(AF)**

- Frequent start-up and shutdown
- Quick-start capability
- Straightforward, low-maintenance design
- Horizontal installation
- Single-ring turbine rotor
- Axial through-flow
- Integral transmission for optimum load matching

Steam turbine SST-050 (AF 4 Gs) driving a pump  
Typical space requirement:  
1,2 x 1,5 x 1,8 m (L x W x H)

Design size	AF 3,5 Gs	AF 4 Gs
Output [kW]	300	750
Speed [r.p.m.]	11000	10500
Live steam pressure [bar abs.]	101	101
Live steam temperature [°C]	500	500
Outlet steam pressure [bar abs.]	1-17	1-17

All data represent characteristic (maximum) values

## Proveedor 2)

One used backpressure steam turbine KKK Siemens CFR5 G5 for sale. The turbine is in a good running condition. It was shut down in sommer 2011. Scope of supply: panel board, documentation, oil cooler. The turbine is located in D-Pulheim. Near Cologne.

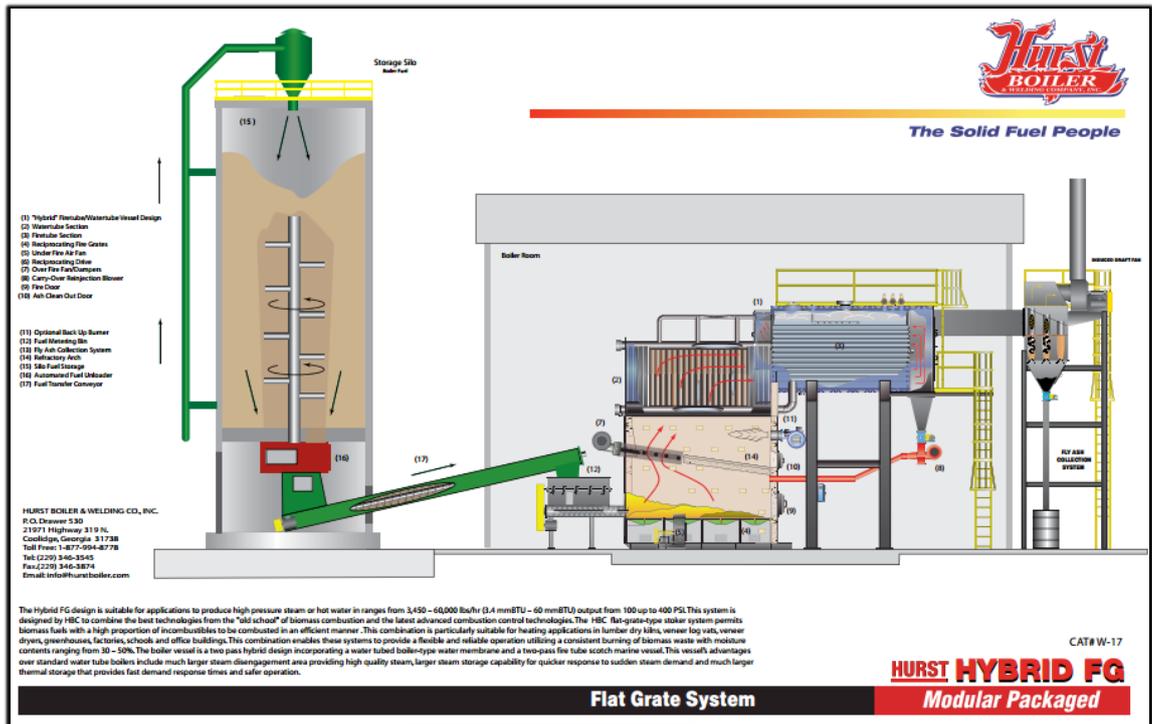
brand	KKK (Siemens) CFR 5 G5
el. power	983 KW
Generator	AEG 1250 KVA, 400 Volts, 50 Hz, cos phi 0,8
steam consumption	10 to/h at full load
steam inlet	16,6 - 25,4 bar*
back pressure	0,0 - 1,5 bar*
inlet steam temperature	300 - 378 °C
gear ratio	9,29
manufactured in	1993
running hours	53000
weight	9 tons
measurements	3,50 L * 2,50 H * 2,40 - 2,75 W



Tomado del link:

[http://www.stromerzeuger-discount.com/backpressure\\_steam\\_turbine\\_1\\_MW\\_KKK\\_Siemens\\_CFR5\\_G5.html](http://www.stromerzeuger-discount.com/backpressure_steam_turbine_1_MW_KKK_Siemens_CFR5_G5.html)

# ANEXO E.- DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL CALDERO, DE ACUERDO AL FABRICANTE.



## BIBLIOGRAFÍA

<http://www.tlv.com/global/LA/calculator/condensate-load-radiant-heat-loss.html>

<http://www.spiraxsarco.com/es/pdfs/TI/gcm-01.pdf>  
[http://palma.aceitescomestibles.com/index.php?option=com\\_taxonomy&tag=palma%20africana&view=blogtags](http://palma.aceitescomestibles.com/index.php?option=com_taxonomy&tag=palma%20africana&view=blogtags)

<http://www.spiraxsarco.com/es/pdfs/TI/gcm-01.pdf>  
[http://palma.aceitescomestibles.com/index.php?option=com\\_taxonomy&tag=palma%20africana&view=blogtags](http://palma.aceitescomestibles.com/index.php?option=com_taxonomy&tag=palma%20africana&view=blogtags)